ÎNDRUMĂTORUL SUDORULUI

Pentru început lucrarea cuprinde o serie întreagă de noțiuni generale strict necesare stăpînirii procesului de sudare a metalelor. În continuare se descrie, la nivelul sudorilor, cu un pronunțat caracter aplicativ, sudarea manuală cu arc a oțelurilor, sudarea automată sub strat de flux, sudarea în baie de zgură, sudarea în medii de gaze protectoare, sudarea manuală cu gaze, sudarea prin presiune și metode speciale de sudare. Separat, sînt prezentate la același nivel particularitățile sudării fontei și aliajelor neferoase, procedee conexe. În încheiere se prezintă unele noțiuni de normare tehnică a lucrărilor de sudare și de specializare și autorizare a sudorilor.

Cartea se adresează tuturor sudorilor, putînd servi și celor care se califică în această specialitate.

Controlul științific :

Ing. V. MICLOȘI

Coperta :

Arh. VICTOR FULICEA

PREFAȚĂ

Reflectînd consecvența cu care partidul asigură dezvoltarea susținută a industriei construcțiilor de mașini, Directivele Congresului al IX-lea al Partidului Comunist Român prevăd pentru anii 1966—1970 o creștere a producției pe ansamblul ramurii cu circa 75% într-un ritm mediu anual de peste 12%. Pentru realizarea acestor deosebite sarcini este necesară creșterea sensibilă a productivității muncii și aceasta fiind posibilă prin perfecționarea continuă a organizării producției și a muncii, dar mai ales prin ridicarea nivelului de calificare a cadrelor.

Această cerință obiectivă de ridicare permanentă a nivelului pregătirii profesionale prezintă o deosebită importanță pentru sudori, deoarece este cunoscută ponderea încă mare pe care o are calitatea muncii sudorului în ansamblul realizării unei îmbinări sudate cu caracteristici superioare.

Ținînd seamă de toate acestea și avînd în vedere numărul mare, în continuă creștere, de sudori, precum și perfecționările aduse în tehnologia sudării, s-a preconizat publicarea unei lucrări de sudură care să se adreseze direct muncitorilor și care să contribuie din plin la ridicarea nivelului de cunoștințe teoretice și practice. În acest scop s-a alcătuit un colectiv de specialiști care își desfășoară activitatea nemijlocit în atelierele de sudură, sau care recepționează lucrări executate prin sudură.

Conținînd multe date, parte din ele inedite, „ÎNDRUMĂTORUL SUDORULUI" înmănunchează experiența unui colectiv de autori, formați în cadrul școlii românești de sudură, dornici să-și aducă contribuția directă la dificila sarcină de elaborare a unei publicații cu un pronunțat caracter aplicativ.

Lucrarea cuprinde în afară de noțiunile generale strict necesare și indicații tehnologice concrete, atît pentru procedeele clasice, cît și pen-

tru cele mai noi. Pe această linie trebuie să consemnăm ca o realizare deosebită sistematizarea efectuată în lucrare, prin numeroase schiţe, a tehnologiei de aplicare a sudării oţelului cu arc electric, pentru diferite poziţii ale pieselor de sudat. Suficient de clare şi complete sînt şi noţiunile privind sudarea fontei, a metalelor şi aliajelor neferoase.

Lucrarea se încheie cu noţiuni de normarea muncii în atelierele de sudură, de specializare şi autorizare a sudorilor pentru operaţiile de răspundere.

EDITURA TEHNICĂ

Capitolul I

GENERALITĂŢI

În tehnica actuală, dintre procedeele de îmbinare a metalelor sudarea ocupă locul cel mai important.

După aplicarea în 1882 a arcului electric între o piesă şi un electrod de cărbune şi a descoperirii în 1888 a arcului electric cu electrod metalic, sudarea a cunoscut o dezvoltare continuă îmbunătăţindu-se permanent procedeele de sudare.

De asemenea s-a aplicat o serie de procedee bazate pe sudare, conexe cu acestea, cum sînt : tăierea, încărcarea suprafeţelor, metalizarea etc.

Această dezvoltare pe care a cunoscut-o sudarea se datoreşte avantajelor pe care le prezintă în comparaţie cu celelalte procedee de îmbinare, printre care : economie de metal, productivitate sporită, preţ de cost redus etc.

Pe lîngă aceste avantaje, sudarea impune o deosebită atenţie în ceea ce priveşte dimensionarea, alegerea materialelor, realizarea procesului tehnologic, calificarea personalului care execută sudarea, controlul după sudare etc. Neglijarea acestor factori poate conduce la distrugerea în exploatare a construcţiilor sudate.

A. PROCEDEE DE SUDARE

Sudarea este procesul de îmbinare a unor piese metalice, realizat prin încălzirea locală, pînă la starea plastică sau lichidă a părţilor de îmbinat.

De obicei, la sudare se îmbină metale identice sau apropiate din punctul de vedere al compoziției chimice.

Totalitatea operațiilor tehnologice folosite la un anumit fel de sudare constituie un procedeu de sudare. După natura lor, procedeele de sudare se clasifică conform fig. 1.

Din grupa procedeelor de sudare prin topire, la care marginile pieselor de sudat sînt aduse în stare lichidă prin încălzire locală, cu sau fără adaos de metal, cele mai mult utilizate sînt :

— sudarea cu arc electric cu electrozi metalici (fuzibili sau nefuzibili), la care arcul electric se stabilește între unul sau mai mulți electrozi metalici și piesele de sudat ; la folosirea electrozilor fuzibili nu se prevede metal de adaos ; în cazul celor nefuzibili, aceștia servesc numai la menținerea arcului ;

— sudarea cu arc electric descoperit, la care arcul electric este vizibil ;

— sudarea cu arc electric acoperit, la care arcul electric nu se vede fiind menținut sub un strat de flux ;

— sudarea cu arc electric în mediu de gaz protector, la care arcul electric și baia se mențin într-un mediu gazos protector de argon, bioxid de carbon etc. ;

— sudarea cu arc electric cu hidrogen atomic, la care arcul electric de curent alternativ se menține între doi electrozi de wolfram, în mediu de hidrogen ;

— sudarea cu gaz — oxiacetilenică — la care sursa termică rezultă din arderea acetilenei în oxigen ;

— sudarea electrică în baie de zgură, la care sursa termică acționează prin efect Joule-Lentz, datorită trecerii curentului electric prin baia de flux topit care acoperă metalul depus.

La sudarea prin presiune, îmbinarea se obține sub acțiunea unei forțe de apăsare transmisă pieselor de sudat, cu sau fără încălzirea locală a acestora. Pentru diversele procedee de sudare, încălzirea se realizează :

— prin efect Joule-Lentz sau prin inducție, la sudarea electrică ;

— prin arderea unui gaz, la sudarea cu gaz ;

— prin căldura degajată în urma reducerii oxidului de fier cu aluminiu sau magneziu, la sudarea cu termit ;

— prin cedarea bruscă în circuitul de sudare a unei energii înmagazinată într-un acumulator de energie (condensator, acumulator electric etc.), la sudarea cu energie înmagazinată.

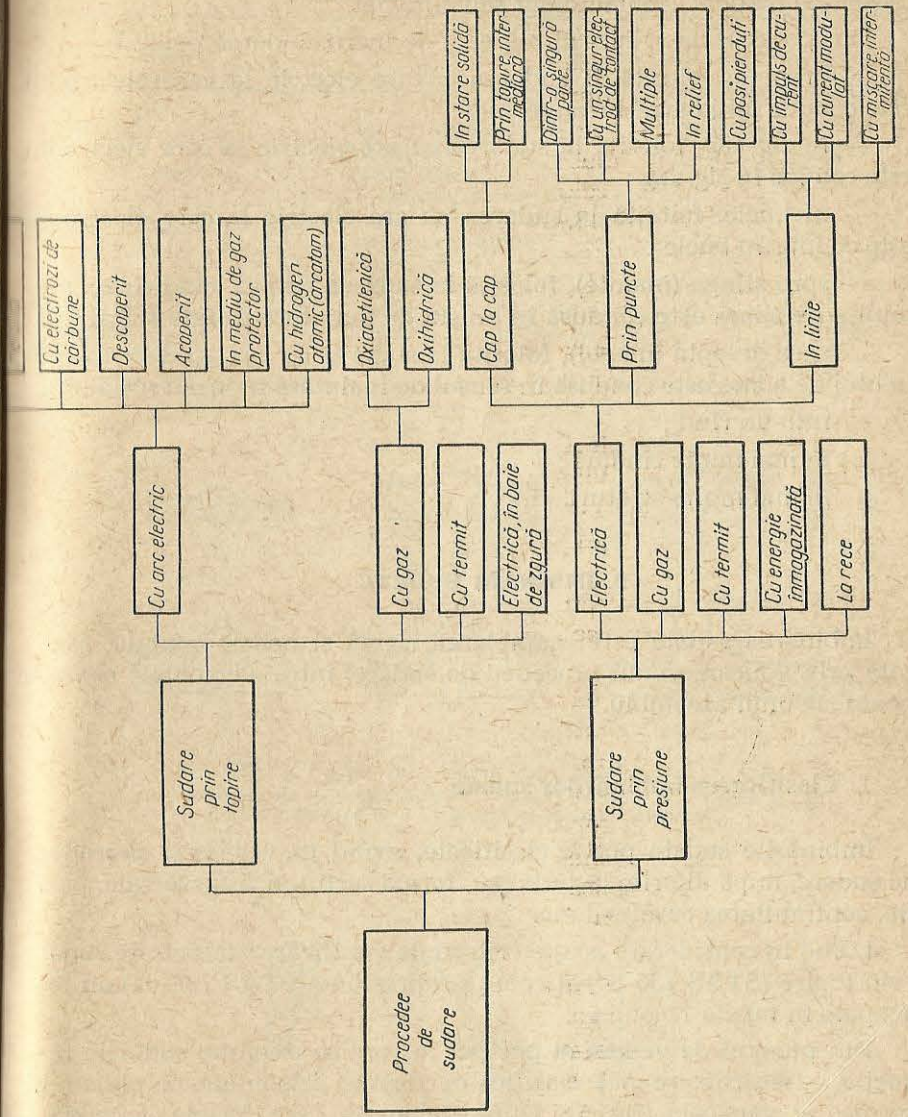


Fig. 1. Clasificarea procedeelor de sudare.

După gradul de mecanizare, diferitele procedee de sudare pot fi executate manual, semiautomat sau automat.

Din punctul de vedere al metodei de lucru, sudarea poate fi :

— dreaptă, folosită la sudarea cu arc electric la care electrodul este condus fără devieri tranversale ;

— în zig-zag, folosită la sudarea cu arc electric la care electrodul este condus în zig-zag ;

— în bucle, folosită la sudarea cu arc electric la care electrodul este condus în bucle ;

— spre stînga (înainte), folosită la sudarea cu gaz, cînd sîrma metalului de adaos este condusă în sensul de înaintare în fața suflaiului ;

— spre dreapta (înapoi), folosită la sudarea cu gaz, cînd sîrma metalului de adaos este condusă în sensul de înaintare în urma suflaiului ;

— într-un rînd ;

— în mai multe rînduri ;

— în mai multe straturi.

B. ÎMBINĂRI SUDATE

Îmbinarea sudată este asamblarea rigidă și nedemontabilă, realizată prin aplicarea unui procedeu de sudare, între elementele componente ale unui ansamblu.

1. Clasificarea îmbinărilor sudate

Îmbinările sudate pot fi clasificate, avînd în vedere și procedeul de sudare, după diferite criterii ca : forma secțiunii transversale, poziția, continuitatea cusăturii etc.

Luînd în considerare aceste criterii de clasificare, îmbinările sudate prin topire (STAS 735-64) și cele prin presiune (STAS 736-64) au fost grupate în tabela 1.

Din punctul de vedere al poziției în care se execută, sudurile respectiv cusăturile, se pot clasifica în cusături orizontale, pe plafon, în cornișă și verticale (fig. 7). După modul în care forțele acționează asupra unei cusături, acestea se pot clasifica, în cusături laterale, frontale și înclinate (fig. 8).

Tabela 1

Clasificarea îmbinărilor sudate

Procedeul	Felul sudării
Sudare prin topire (STAS 735-64)	Cap la cap (fig. 2) Frontal (fig. 3) În colț (fig. 4) Cu margini suprapuse În găuri rotunde sau pătrate Prin puncte topite De prezon Între trei table
Sudare prin presiune (STAS 736-64)	Cap la cap (fig. 5) Cu marginile suprapuse (fig. 6)

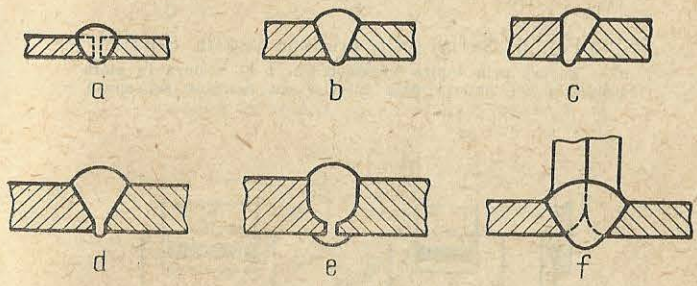


Fig. 2. Suduri prin topire, cap la cap :
a — sudură în I; *b* — sudură în V; *c* — sudură în ½ V; *d* — sudură în Y; *e* — sudură în U; *f* — sudură cu margini răsfrînte.

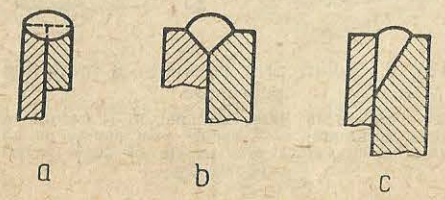


Fig. 3. Suduri prin topire, frontale :
a — sudură în I; *b* — sudură în V; *c* — sudură în ½ V.

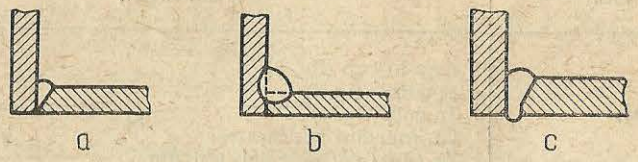


Fig. 4. Suduri prin topire în colţ:
a — sudură în ½ V; *b* — sudură în L; *c* — sudură în J sau ½ U.

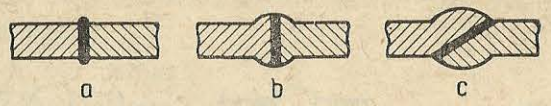


Fig. 5. Suduri prin presiune cap la cap:
a — sudură prin topire intermediară; *b* — sudură în stare solidă; *c* — sudură prin strivire cu margini suprapuse.

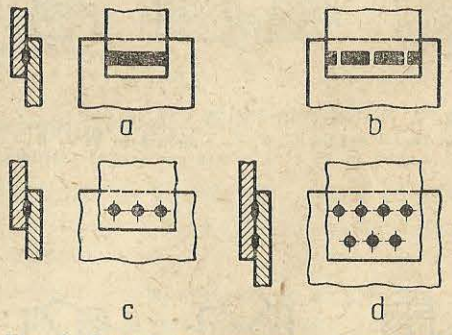


Fig. 6. Suduri prin presiune cu marginile suprapuse:
a — sudură în linie continuă; *b* — sudură în linie intreruptă; *c* — sudură prin puncte pe un rînd; *d* — sudură prin puncte în două rînduri în zig-zag.

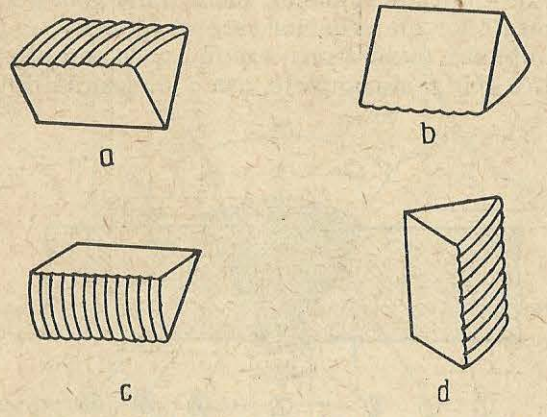


Fig. 7. Clasificarea cusăturilor după poziţia de sudare:
a — cusătură orizontală; *b* — cusătură pe plafon; c — cusătură în cornişă; *d* — cusătură verticală.

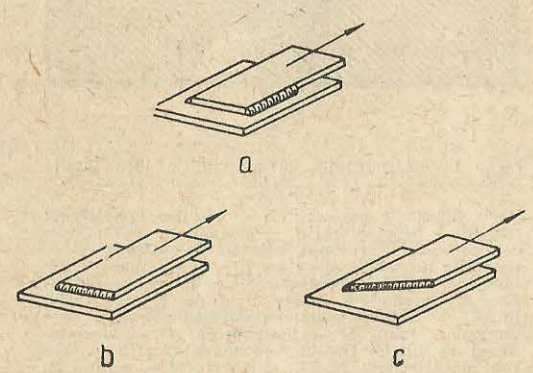


Fig. 8. Poziţia cusăturilor faţă de direcţia forţelor:
a — cusătură laterală; *b* — cusătură frotală; *c* — cusătură înclinată.

2. Elementele îmbinărilor sudate

Orice îmbinare sudată are o serie de elemente caracteristice, definite în funcție de tipul materialelor, elementele geometrice ale îmbinării, forma marginilor materialelor care se îmbină etc. Dintre diversele tipuri de îmbinări, sudura prin topire cap la cap prezintă elementele caracteristice cele mai complete, așa cum rezultă din fig. 9.

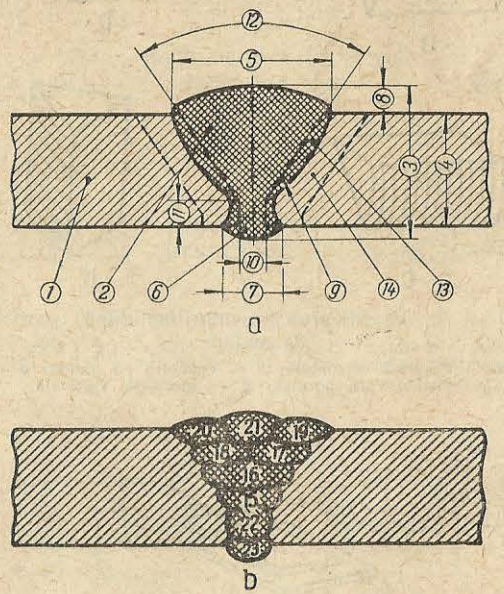


Fig. 9. Elementele caracteristice ale cusăturii :

a — elementele cusăturii; *b* — poziția rîndurilor și straturilor în cusătură: *1* — metalul de bază; *2* — cusătură; *3* — grosimea practică a cusăturii; *4* — grosimea teoretică a cusăturii; *5* — lățimea cusăturii; *6* — rădăcina cusăturii; *7* — lățimea cusăturii; *8* — îngroșare; *9* — rost; *10* — deschiderea rostului; *11* — rădăcina rostului (înălțimea netești); *12* — unghiul rostului; *13* — pătrunderea; *14* — zona influențată termic; (*15*—*21* — rînduri; *22* și *23* — rînduri de rădăcină; *15* — stratul I; *16* — stratul II; *17* și *18* — stratul III; *19*, *20* și *21* — stratul IV; *22* — stratul de rădăcină I; *23* — stratul de rădăcină II).

Termenul de sudură este un termen generic folosit pentru rînd, strat, cusătură etc., care rezultă după aplicarea unui procedeu de sudare.

La îmbinările sudate în colț, elementul esențial este grosimea sudurii (fig. 10), celelalte elemente ale sudurii fiind luate în considerare după caz, ca și la sudurile cap la cap.

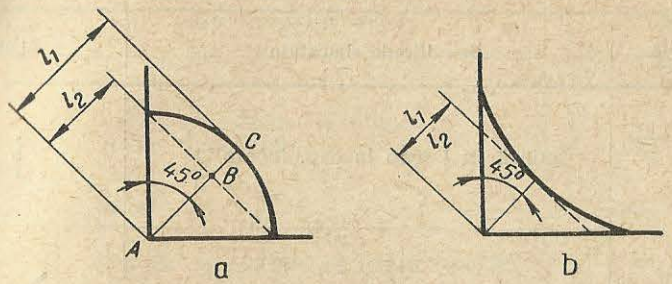


Fig. 10. Elementele îmbinărilor sudate în colț :

a — sudură convexă; *b* — sudură concavă; l_1 — dimensiunea măsurată; l_2 — dimensiunea de calcul.

3. Simbolul îmbinărilor sudate

În majoritatea cazurilor, îmbinările sudate sînt reprezentate cu ajutorul notațiilor convenționale.

Sudurile prin topire se reprezintă prin simbolul sudurii și, de la caz la caz, prin simboluri suplimentare, dimensiunile rostului și numărul de poziție a cusăturii (tabela 2).

În afara simbolurilor, la sudurile prin topire se mai notează :

— grosimea sudurii pentru îmbinări în I, V, $^1/_2$ V, Y, $^1/_2$ Y, U și I, cu *s* ;

— grosimea sudurii pentru îmbinări în L, cu *a* ;

— înălțimea porțiunii prelucrate a rostului pentru îmbinări în Y, $^1/_2$ Y, U, J și O, cu *h* ;

— lărgimea minimă a rostului pentru îmbinări în U și I, cu *b* ;

— lărgimea maximă a rostului pentru îmbinări în U și I, cu *E* ;

— unghiul dintre marginile rostului la suduri în V, $^1/_2$ V, Y, $^1/_2$ Y și O, cu $\alpha°$;

— lungimea sudurii (se înscrie numai împreună cu grosimea sudurii sub forma $s \cdot l$ respectiv $a \cdot l$), cu *l*.

La sudurile prin puncte topite și la suduri de prezoane, *d* reprezintă diametrul punctului topit la suprafața de contact dintre cele două piese, respectiv diametrul prezonului ; această dimensiune se înscrie în dreapta simbolului sudurii.

Tabela 2

Suduri prin topire (simboluri)

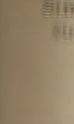
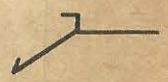
Categoria simbolului	Semnificația simbolului	Simbolul
Simbolurile sudurii	Sudură în I (cap la cap, frontală)	
	Sudură în V (cap la cap, frontală)	
	Sudură în ½ V (cap la cap, frontală, în colț)	
	Sudură în Y (cap la cap)	
	Sudură în ½ Y (cap la cap, în colț)	
	Sudură în U (cap la cap)	
	Sudură în J sau ½ U (cap la cap, în colț)	
	Sudură în L (în colț, cu margini suprapuse)	

Tabela 2 (continuare)

Categoria simbolului	Semnificația simbolului	Simbolul
Simbolurile sudurii	Sudură în O (în gaură rotundă la table suprapuse)	
	Sudură cu margini răsfrînte (cap la cap)	
	Sudură în gaură pătrată (tablă suprapusă)	
	Sudură prin puncte topite (electronit la table suprapuse)	
	Sudură de prezon	
	Sudură în trei table	
Simbolurile suplimentare	Suprafața exterioară a sudurii plane, fără prelucrare după sudare	
	Suprafața exterioară a sudurii concave, fără prelucrare după sudare	

Tabela 2 (continuare)

Categoria simbolului	Semnificația simbolului	Simbolul
Simbolurile suplimentare	Suprafața exterioară a sudurii convexe, fără prelucrare după sudare	
	Îngroșarea cusăturii se va îndepărta pînă la nivelul marginilor îmbinate	
	Cusăturile și neregularitățile cusăturii se vor prelucra pentru obținerea unor treceri line, de la cusătură la metalul de bază	
	Rădăcina sudurii se va scobi și resuda sau se va aplica sudarea cu pătrundere adîncă	
	Săgeata indică marginea prelucrată numai la sudurile ½ V, ½ Y și J	
	Linia de indicație a sudurii marcată cu un steguleț arată că sudura se execută la montaj	
	Linia de indicație a sudurii marcată cu un cerc arată că lungimea cusăturii cuprinde sudurile executate pe întregul perimetru	

În cazul cusăturilor întrerupte, acestea se notează la fel ca cele continue, avînd în vedere următoarele :

— lungimea l se înlocuiește cu l/t (t — pasul) ;

— în cazul cusăturilor întrerupte bilaterale, în zig-zag, în loc de l/t se notează lZt ;

— la cusături în găuri rotunde în puncte sudate sau la suduri de prezoane în loc de $a \cdot l/t$, se înscrie d/t.

Ordinea de înscriere a dimensiunilor în desen, este următoarea :

— în dreapta simbolului sudurii, dimensiunile respectiv a, l și d/t ;

— în stînga simbolului sudurii, dimensiunea h ;

— în interiorul simbolului sudurii, dimensiunile E, b sau $\alpha°$.

În fig. 11 se prezintă exemple de notare a sudurilor pe desen.

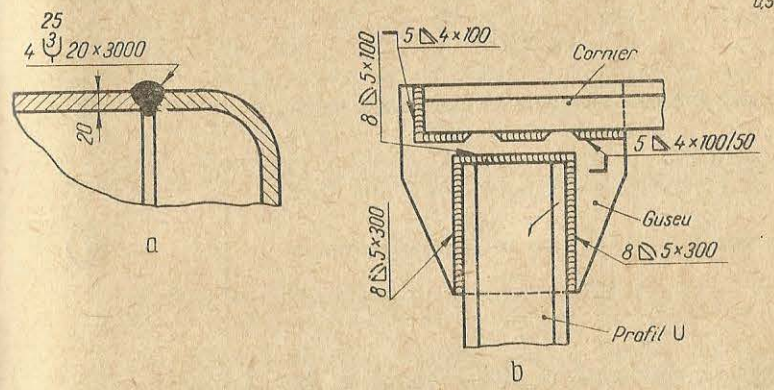


Fig. 11. Exemple de notare a îmbinărilor sudate :
a — sudură cap la cap; *b* — suduri de colț.

La sudurile prin presiune, se folosesc pentru reprezentarea lor simboluri specifice (tabela 3).

În afara simbolurilor, la sudurile prin presiune se mai notează :

— diametrul punctului, diametrul reliefului sau lățimea cusăturii în linie, cu d ;

— lungimea cusăturii, cu l ;

— lungimea porțiunilor sudate la sudura în linie întreruptă, cu l_1 ;

— distanța dintre puncte sau pasul sudurii întrerupte, cu e_1 ;

— distanța dintre rîndurile de puncte, cu e_2.

La sudurile prin puncte în două rînduri, dimensiunile e_1 și e_2 se despart între ele, cu o linie oblică în cazul dispunerii paralele a punctelor și cu semnul Z în cazul dispunerii în zig-zag a punctelor.

Tabela 3

Suduri prin presiune (simboluri)

Denumirea sudurii	Simbolul
Cap la cap prin topire intermediară	
Cap la cap în stare solidă	
Cap la cap prin strivire cu folii pe ambele părți	
Cap la cap prin strivire cu marginile suprapuse	
Cu marginile suprapuse, în linie continuă sau în linie întreruptă	
Cu marginile suprapuse, prin puncte pe un rînd, prin puncte pe două rînduri paralele, prin puncte pe două rînduri în zig-zag	
Cu marginile suprapuse, prin puncte în relief vizibile	
Cu marginile suprapuse prin puncte în relief invizibile	

În cazul îmbinărilor cap la cap a barelor și oțelurilor profilate, nu se indică dimensiunile sudurii.

Ordinea de notare a sudurilor este : cota d, simbolul l, l_1 și e_1 sau e_1 și e_2.

4. Solicitarea îmbinărilor sudate

La construcțiile de mașini, îmbinările sudate sînt supuse la solicitări simple (întindere, încovoiere, forfecare) sau combinate (încovoiere cu forfecare, întindere cu forfecare etc.). Astfel de solicitări sînt arătate în fig. 12.

În calculul de rezistență a îmbinărilor sudate trebuie să se țină seama de aceste solicitări, luînd în considerare, pentru materialele respective, rezistențele admisibile corespunzătoare ; de asemenea, trebuie avut în vedere și modul de acționare a forțelor asupra îmbinărilor, care poate fi static sau dinamic (cazul cel mai des întîlnit fiind solicitări statice combinate cu șocuri). În calcule se ține seama de solicitările dinamice prin mărirea forțelor stabilite în cazul solicitărilor statice cu un coeficient cu valori de 1,1—1,7, funcție de felul construcției.

C. ALIAJE FOLOSITE LA CONSTRUCȚII SUDATE

Dintre aliajele folosite în construcțiile sudate, oțelul are cea mai largă utilizare, datorită unor avantaje cum sînt : proprietăți de rezistență superioare, preț de cost redus, posibilități de prelucrare mai mari etc.

Fonta este puțin utilizată în construcțiile sudate, datorită, în special, dificultăților pe care le prezintă la sudare.

În măsură mult mai mică decît oțelul, mai sînt utilizate în construcțiile sudate, metalele neferoase, în special cuprul, aluminiul și aliajele lor.

1. Oțeluri

Oțelul este un aliaj de fier-carbon (conținutul de carbon 0,05—1,7%), care mai conține și alte elemente, sub formă de impurități provenite din elaborare sau ca elemente introduse intenționat pentru aliere în scopul realizării unor anumite proprietăți.

Fierul constituie elementul de bază în oțeluri.

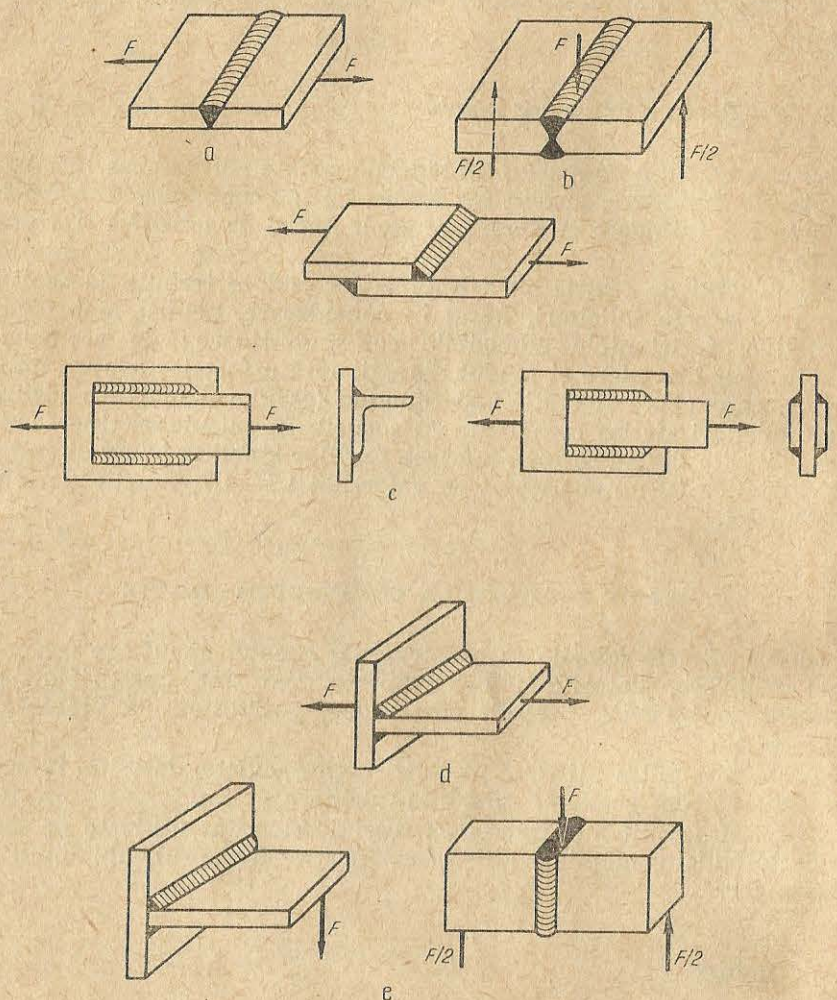


Fig. 12. Tipuri de solicitare statică a sudurilor:
a — solicitare la întindere; *b* — solicitare la încovoiere; *c* — solicitări la forfecare; *d* — solicitare la întindere-forfecare; *e* — solicitări la încovoiere-forfecare.

Carbonul formează cu fierul cementita (compus Fe-C foarte dur) și soluții solide.

În general, cu cît fierul conține mai puțin carbon, cu atît este mai moale, mai tenace, mai ușor forjabil și sudabil, are o rezistență de rupere la tracțiune mai mică și o alungire și rezilință mai mare; pe măsura creșterii conținutului de carbon, rezistența la tracțiune crește, alungirea scade, oțelul este mai dur și mai fragil, greu forjabil și sudabil și mai ușor călibil.

Manganul variază în oțelurile carbon între 0,3 și 0,8%, fiind introdus în oțel la elaborare cu rolul de a îmbunătăți proprietățile acestuia, avînd și rolul de a combate influența dăunătoare a sulfului și oxigenului. În procent peste 0,8% este considerat element de aliere, mărind limita de curgere și rezistența la rupere, micșorînd însă, în mai mică măsură, alungirea; în general, îmbunătățește rezilința și forjabilitatea, impunînd în unele cazuri, măsuri speciale din punctul de vedere al sudării.

Siliciul nu depășește în oțelurile carbon 0,4%, îmbunătățindu-i proprietățile și combătînd influența dăunătoare a oxigenului; în general, siliciul peste 0,4% este considerat ca element de aliere și influențează proprietățile oțelului în mod similar ca manganul.

Sulful nu trebuie să depășească 0,05%, iar pentru oțeluri de calitate, în general 0,03%, fiind o impuritate dăunătoare deoarece face oțelul fragil la cald, micșorînd astfel posibilitățile de sudare și forjare.

Fosforul este o altă impuritate dăunătoare care provoacă fragilitate la rece; conținutul de fosfor este limitat în oțeluri în aceleași procente ca și sulful.

Cromul este un element de aliere care ridică rezistența de rupere la tracțiune (cca. 10 kgf/mm² pentru fiecare 1% Cr) scăzînd alungirea cu aproximativ 1,5%. În cantități mari, peste 12% Cr și la conținuturi mici de carbon, oțelurile devin rezistente la coroziune în apă, acizi, gaze fierbinți etc. Oțelurile cu crom comportă măsuri speciale de sudare.

Nichelul mărește rezistența de rupere la tracțiune și limita de curgere, în timp ce alungirea aproape nu se modifică. Prezența nichelului în oțeluri le face rezistente, oțelurile cu conținut redus de carbon și cu 15—25% Ni și 20—25% Cr formînd clasa oțelurilor refractare. În general, oțelurile cu nichel se sudează în bune condiții.

Molibdenul este un element de aliere care în cantități reduse mărește rezistența de rupere la tracțiune, limita de curgere, rezilința, alungirea și duritatea; prezența molibdenului conferă oțelului rezistență sporită la coroziune și la temperaturi înalte. În general, molibdenul nu are o influență defavorabilă asupra sudării.

Vanadiul este folosit rar pentru aliere fiind un element scump și deficitar. Prezența vanadiului îmbunătățește rezistența de rupere la tracțiune, limita de curgere, rezistența la temperaturi înalte și la oboseală ; oțelurile cu vanadiu se sudează bine.

Wolframul nu se folosește de obicei pentru alierea oțelurilor de construcție, fiind însă prezent în oțelurile de scule, deoarece mărește rezistența la tracțiune și la uzură. Adăugat în cantități corespunzătoare, formează oțeluri rapide.

Cuprul adăugat în cantități reduse, pînă la 0,05%, mărește duritatea, limita de curgere, limita de rupere la tracțiune și plasticitatea. Exercită, de asemenea, o influență favorabilă și asupra rezistenței la coroziune, în aceste procente nefiind dăunător sudării.

Aluminiul se folosește pentru calmarea oțelurilor (este un dezoxidant și degazeificator puternic) ; influențează favorabil proprietățile oțelurilor, în cantități pînă la 0,1%, asigură formarea unor structuri fine și împiedică oxidarea la temperaturi înalte. Oțelurile cu aluminiu se sudează în bune condiții.

În afara elementelor de aliere menționate, oțelurile pot să mai conțină și altele, ca de exemplu : titan, niobiu etc. în scopul îmbunătățirii proprietăților lor.

Dimpotrivă, prezența în oțel a oxigenului și azotului este dăunătoare, acesta devenind dur și fragil.

Oțelurile se pot clasifica după diverse criterii, respectiv :

— după metoda de elaborare (oțeluri Martin, electrice, Thomas etc.) ;

— după compoziția chimică, respectiv oțeluri carbon, care conțin în afară de fier și carbon cantități reduse, în principal, de Si și Mn, și oțeluri aliate, în care sînt prezente elemente de aliere ca : Cr, Mo, Ni, Mn etc. ;

— după destinație, oțeluri de construcție (construcții metalice, construcții de mașini etc.), oțeluri de scule (executarea sculelor așchietoare) și oțeluri cu destinație specială (cazane de abur, recipiente, țevi etc.) ;

— după structură, oțelurile pot fi perlitice, feritice, austenitice, martensitice etc.

Principalele oțeluri elaborate în țara noastră sînt standardizate astfel :

— oțel carbon obișnuit (STAS 500-63) ;
— oțel carbon de calitate (STAS 880-60) ;
— oțel aliat pentru construcții de mașini (STAS 791-63) ;
— oțel inoxidabil și anticorosiv (STAS 3583-64) ;

— oțel carbon laminat în table groase pentru cazane de abur și recipiente sub presiune (STAS 2883-62) ;
— oțel pentru țevi (STAS 2881-61) ;
— oțel carbon pentru scule (STAS 1700-64) ;
— oțel aliat pentru scule (STAS 3611-61) ;
— oțel carbon turnat în piese (STAS 600-61) ;
— oțel aliat turnat în piese (STAS 1773-63) ;
— oțel aliat refractar și rezistent la agenți chimici turnat în piese (STAS 6855-63) ;
— oțel austenitic manganos turnat în piese (STAS 3718-63) ;
— tablă decapată (STAS 1988-59).

În tabela 4 sînt prezentate compozițiile chimice și caracteristicile mecanice ale unora dintre oțelurile carbon și aliate, produse în țara noastră și utilizate curent în construcții sudate ; în tabela 5 se indică unele oțeluri străine folosite pentru construcții sudate.

2. Fonte

Fonta este un aliaj de fier-carbon, cu conținutul de carbon peste 1,7%, obișnuit acesta fiind cuprins între 2,0—4,5%.

Caracteristicile de rezistență ale fontei diferă de cele ale oțelului, fiind influențate în primul rînd de structura pe care o are, respectiv de starea în care se află carbonul în fontă.

Din punctul de vedere al sudării, fonta prezintă unele dificultăți, sudarea ei impunînd tehnologii speciale, utilizîndu-se în special sudarea la cald.

În afara fontelor brute (utilizate în general pentru elaborarea oțelurilor sau pentru obținerea fontelor de la două topiri), în tehnică se utilizează mult fontele de a doua topire (turnate în piese), care, din punctul de vedere al structurii, pot fi albe, cenușii, maleabile, modificate sau cu proprietăți speciale ; în tabela 6 se indică principalele caracteristici ale unor categorii de fonte.

3. Cuprul și aliaje de cupru

Cuprul se folosește în stare aproape pură, cuprul rafinat (STAS 270-62), obținîndu-se pe cale electrolitică sau termică, cu o puritate de 99,00—99,95%.

În afara cuprului, foarte mult sînt utilizate aliajele cu bază de cupru, alame (aliaje cupru-zinc) și bronzuri (aliaje cupru-staniu sau

Oțeluri utilizate

Marca	STAS	Compoziția chimică, %						
		C	Mn	Si	S maxi-mum	P maxi-mum	S+P maxi-mum	Cu
OL 00	500-63	max. 0,23	—	—	—	—	—	—
OL 32	500-63	0,06—0,12	0,25—0,50	0,07—0,17	0,055	0,045	—	—
OL 34	500-63	0,09—0,15	0,25—0,50	0,07—0,17	0,055	0,045	—	—
OL 38	500-63	0,14—0,22	0,30—0,65	0,07—0,30	0,055	0,045	—	—
OL 42	500-63	0,18—0,27	0,40—0,70	0,07—0,37	0,055	0,045	—	—
OL 50	500-63	0,28—0,37	0,50—0,80	0,17—0,37	0,055	0,045	—	—
OLC 10	880-60	0,07—0,13	0,35—0,65	0,17—0,37	0,040	0,040	—	—
OLC 15	880-60	0,12—0,18	0,35—0,65	0,17—0,37	0,040	0,040	—	—
OLC 20	880-60	0,17—0,24	0,35—0,65	0,17—0,37	0,040	0,040	—	—
OLC 25	880-60	0,22—0,29	0,50—0,80	0,17—0,37	0,040	0,040	—	—
OLC 25 S	880-60	0,22—0,27	0,50—0,80	0,17—0,37	0,035	0,035	—	max. 0,30
OLC 30	880-60	0,27—0,34	0,50—0,80	0,17—0,37	0,040	0,040	—	—
OLC 30 S	880-60	0,27—0,32	0,50—0,80	0,17—0,37	0,035	0,035	—	max. 0,30
OLC 35	880-60	0,32—0,39	0,50—0,80	0,17—0,37	0,040	0,040	—	—
OLC 35 S	880-60	0,32—0,37	0,50—0,80	0,17—0,37	0,035	0,035	—	max. 0,30
OLC 45	880-60	0,42—0,49	0,50—0,80	0,17—0,37	0,040	0,040	—	—
OLK 1	2883-62	0,09—0,16	0,40—0,65	—	0,045	0,045	—	max. 0,3
OLK 2	2883-62	0,14—0,22	0,40—0,65	—	0,045	0,045	—	max. 0,3
OLK 3	2883-62	0,09—0,16	0,40—0,65	0,15—0,35	0,045	0,045	—	max. 0,3
OLT 32	2881-61	0,06—0,13	0,30—0,50	—	0,045	0,045	0,08	—
OLT 35	2881-61	0,09—0,15	0,35—0,60	0,15—0,35	0,045	0,045	0,08	—
OLT 45	2881-61	0,16—0,25	0,40—0,70	0,15—0,35	0,045	0,045	0,08	—
OLT 55	2881-61	0,25—0,39	0,50—0,80	0,15—0,35	0,045	0,045	0,08	—
OAT 1	2881-61	0,08—0,15	0,5—0,8	max. 0,35	0,04	0,04	0,07	—
OAT 2	2881-61	0,12—0,18	0,5—0,8	max. 0,35	0,04	0,04	0,07	—
OAT 3	2881-61	max. 0,15	0,3—0,6	0,5—1,0	0,04	0,04	0,07	—
OAT 4	2881-61	max. 0,15	0,3—0,6	0,5—1,0	0,03	0,03	0,05	—
OAT 5	2881-61	max. 0,15	0,3—0,6	0,3—0,6	0,03	0,03	0,05	—

Tabela 4

la construcții sudate

Mo	Cr	Ni	Alte elemente	Caracteristici mecanice și tehnologice				
				σ_r kgf/mm²	σ_c kgf/mm² minim.	δ % minim.	KCU kgfm/cm² minim.	Îndoirea a°/d
—	—	—	—	min. 32	—	18	—	90/2 *a*
—	—	—	—	32—40	—	33	—	180/0
—	—	—	—	34—42	22—19	31	—	180/0
—	—	—	—	38—47	24—21	27—25	7	180/0,5 *a*
—	—	—	—	42—52	26—24	25—23	6	180/2 *a*
—	—	—	—	50—62	28—26	21—19	—	180/3 *a*
—	—	—	—	34	21	31	—	—
—	—	—	—	38	23	28	—	—
—	—	—	—	42	25	26	—	—
—	—	—	—	46—48	28—30	25—24	8	—
—	max. 0,30	max. 0,30	$As \leqslant 0,05$	46—49	28—30	26—25	10	—
—	—	—	—	50—53	30—32	23—22	7	—
—	max. 0,30	max. 0,30	$As \leqslant 0,05$	50—53	30—32	24—23	9	—
—	—	—	—	52—55	32—34	22—21	7	—
—	max. 0,30	max. 0,30	$As \leqslant 0,05$	52—55	32—34	23—22	9	—
—	—	—	—	62—65	36—38	18—17	6	—
—	max. 0,3	max. 0,3	Cr+Ni+Cu $\leqslant 0,7$	34—42	22—19	31—28	7	180/0
—	max. 0,3	max. 0,3	Cr+Ni+Cu $\leqslant 0,7$	38—47	24—21	27—25	6	180/0,5 *a*
—	max. 0,3	max. 0,3	Cr+Ni+Cu $\leqslant 0,7$	35—44	23—21	24—29	8	180/0
—	—	—	—	min. 32	18	28	—	—
—	—	—	—	min. 35	23	25	—	—
—	—	—	—	min. 45	26	21	—	—
—	—	—	—	min. 55	32	17	—	—
0,3—0,5	—	—	—	min. 38	25	20	—	—
0,45—0,65	0,6—1,0	—	—	min. 45	30	18	—	—
0,45—0,65	1,0—1,5	—	—	min. 45	30	18	—	—
0,45—0,65	2,2—2,7	—	—	min. 45	38	18	—	—
0,45—0,65	4—6	—	V=0,10—0,25 Al=0,4—0,8	min. 45	38	18	—	—

Marca	STAS	Compoziția chimică, %						
		C	Mn	Si	S maxi-mum	P maxi-mum	S+P maxi-mum	Cu
TD	1988-59	max. 0,12	0,25—0,45	max. 0,07	0,04	0,04	0,07	—
—	6450-61	0,07—0,12	max. 0,4	max. 0,2	0,04	0,04	0,07	—
13 NC 185 X	3583-56	max. 0,15	max. 0,60	max. 0,70	0,03	0,035	0 06	—
OT 45	600-61	0,15—0,25	0,5—0,9	0,20—0,45	—	—	—	—
OT 50	600-61	0,20—0,30	0,5—0,9	0,20—0,45	—	—	—	—
OT 60	600-61	0,35—0,45	0,5—0,9	0,20—0,55	—	—	—	—
OT 45 A	600-61	0,15—0,25	0,5—0,9	0,20—0,45	—	—	—	—
OT 50 A	600-61	0,20—0,30	0,5—0,9	0,20—0,45	—	—	—	—
OT 55 A	600-61	0,25—0,35	0,5—0,9	0,20—0,55	—	—	—	—
OT 45 X	600-61	0,15—0,25	0,5—0,9	0,20—0,45	—	—	—	—
OT 50 X	600-61	0,20—0,30	0,5—0,9	0,20—0,45	—	—	—	—

Observații : α — unghiul de îndoire ; d — diametrul dornului ; a — grosimea

alt element) ; alamele cu un conținut de zinc de 10—20% sînt cunoscute sub denumirea de tombacuri.

În tabelele 7 și 8 sînt arătate principalele caracteristici ale cuprului și ale aliajelor sale celor mai mult utilizate.

4. Aluminiul și aliaje cu bază de aluminiu

Aluminiul, ca și cuprul, trebuie să aibă o puritate ridicată. Tablele laminate din aluminiu (STAS 428-49) se execută din aluminiu de calitatea Al 99 sau Al 99,5, cu gradele de ecruisare moale, jumătate tare și tare, avînd rezistența de rupere la tracțiune de 8—14 kgf/cm² și alungirea de 20—3%.

Tabela 4 (continuare)

Mo	Cr	Ni	Alte elemente	Caracteristici mecanice și tehnologice				
				σ_r kgf/mm²	σ_c kgf/mm² minim.	δ % minim.	KCU kgfm/cm² minim.	Îndoirea $\alpha°/d$
—	—	—	—	28—42	—	26	—	180/0
—	—	—	—	30—40	—	30	—	—
—	17—20	8—10	Ti⩽0,5 sau Nb⩽1,3	60—75	25	45	11	—
—	—	—	—	min. 45	23	18	—	—
—	—	—	—	min 50	25	15	—	—
—	—	—	—	min. 60	30	10	—	—
—	—	—	—	min. 45	23	22	4	180/3 *a*
—	—	—	—	min. 50	25	19	3	180/4 *a*
—	—	—	—	min. 55	28	16	2,5	—
—	—	—	—	min. 45	27	25	4	180/2 *a*
—	—	—	—	min. 50	29	22	3	180/3 *a*

tablei ; *s* — selecționat ; *A* — ameliorat ; X — special.

Țevile trase din aluminiu (STAS 524-49) se execută din aluminiu cu puritate 98—99,5, cu aceleași grade de ecruisare ca și tablele, avînd rezistența de rupere la tracțiune de 7—14 kgf/cm² și alungirea de 22—2%.

Dintre aliajele cu bază de aluminiu, o largă utilizare au cele cu magneziu (între 3—9% Mg), care prezintă caracteristici superioare de rezistență, respectiv alungiri pînă la 35—40% și rezistența de rupere la tracțiune pînă la 35—40 kgf/mm² ; aceste aliaje permit, în general în bune condiții, deformarea plastică, sudarea, tratamente termice etc.

Aliajele cu bază de aluminiu turnate în piese (STAS 201-59) conțin ca elemente principale de aliere cupru (aliaje AT Cu), siliciu (aliaje AT Si), magneziu (aliaje AT Mg), precum și cupru-magneziu

Oțeluri străine utilizate în construcții sudate

Tabela 5

Marca	Proveniența	Compoziția chimică, %									Caracteristici mecanice și tehnologice				
		C	Mn	Si	S maximum	P maximum	Cu	Mo	Cr	Ni	Alte elemente	σ_r kgf/mm²	σ_c kgf/mm²	δ_5 %	KCU minimum kgfm/mm²	Îndoirea $\alpha°/d$
VSt 3	GOST 380-60	⩽0,12	0,25–0,55	0,12–0,35	0,05	0,08	⩽0,3	–	⩽0,3	⩽0,3	–	38–47	24–22	27–25	7	180/0,5*a*
VSt 4	GOST 380-60	0,12–0,20	0,35–0,55	0,12–0,35	0,05	0,08	⩽0,3	–	⩽0,3	⩽0,3	–	42–52	26–24	25–23	8	180/2*a*
15 K	GOST 5520-62	0,12–0,20	0,35–0,65	0,15–0,30	0,045	0,040	⩽0,3	–	⩽0,3	⩽0,3	As⩽0,08 Ti= =0,01–0,03	⩾38	23–21	27–25	8–6	180/1,5*a*
20 K	GOST 5520-62	0,16–0,24	0,35–0,65	0,15–0,30	0,045	0,040	⩽0,3	–	⩽0,3	⩽0,3	As⩽0,08 Ti= =0,01–0,03	⩾41	25–23	26–23	7–5	180/2,5*a*
09 G 2 S	GOST 5520-62	⩽0,12	1,30–1,70	0,50–0,80	0,040	0,040	⩽0,3	–	⩽0,3	⩽0,3	As⩽0,08 Ti= =0,01–0,03	50–44	35–27	⩾22	6	180/2*a*
10 G 2 S 1	GOST 5520-62	⩽0,12	1,30–1,65	0,90–1,20	0,040	0,040	⩽0,3	–	⩽0,3	⩽0,3	As⩽0,08 Ti= =0,01–0,03	52–46	38–32	⩾22	6	180/2*a*
16 GS	GOST 5520-62	0,12–0,18	0,9–1,2	0,40–0,70	0,040	0,040	⩽0,3	–	⩽0,3	⩽0,3	As⩽0,08 Ti= =0,01–0,03	50–46	33–28	⩾22	6	180/2*a*
16 GNM	U.R.S.S.	0,12–0,18	0,8–1,0	0,17–0,37	0,040	0,035	⩽0,25	0,40–0,55	⩽0,3	1,0–1,3	–	⩾50	⩾30	⩾18	6	–
12 MH	U.R.S.S.	⩽0,15	0,40–0,70	0,17–0,37	0,035	0,035	⩽0,2	0,40–0,55	⩽0,3	⩽0,25	–	⩾42	⩾27	⩾24	14	–
12 HM	U.R.S.S.	⩽0,15	0,40–0,70	0,17–0,37	0,04	0,04	⩽0,25	0,40–0,55	0,4–0,6	⩽0,3	–	⩾42	⩾26	⩾18	–	–
15 HM	U.R.S.S.	⩽0,16	0,40–0,70	0,17–0,37	0,04	0,04	⩽0,25	0,40–0,6	0,8–1,1	⩽0,3	–	⩾45	⩾28	⩾18	–	–
12 HMF	U.R.S.S.	0,08–0,15	0,40–0,70	0,17–0,37	0,035	0,035	⩽0,2	0,25–0,35	0,40–0,60	⩽0,25	V= =0,15–0,30	⩾45	⩾25	⩾22	9	–
H I	DIN 17155	⩽0,16	⩾0,40	⩽0,35	0,05	0,05	–	–	⩽0,3	–	–	35–45	⩾21	–	8	–
H II	DIN 17155	⩽0,20	⩾0,50	⩽0,35	0,05	0,05	–	–	⩽0,3	–	–	41–50	⩾24	–	7	–
H III	DIN 17155	⩽0,22	⩾0,55	⩽0,35	0,05	0,05	–	–	⩽0,3	–	–	44–53	⩾26	–	6	–
15 Mo 3	DIN 17155	0,12–0,20	0,50–0,70	0,15–0,35	0,04	0,04	–	0,25–0,35	–	–	–	44–53	⩾27	–	6	180/3*a*
16 Mo 5	DIN 17155	⩽0,21	⩽0,90	0,15–0,30	0,04	0,04	–	0,45–0,60	–	–	–	45–55	⩾27	–	6	180/3*a*
13 Cr Mo 44	DIN 17155	0,10–0,18	0,40–0,70	0,15–0,35	0,04	0,04	–	0,40–0,50	0,70–1,0	–	–	44–56	⩾30	–	6	180/3*a*
V 2 A	–	0,15	0,20–0,40	0,30–0,50	–	–	–	–	18	8,5	–	55–75	⩾25	⩾50	20	–
V 2 A Extra	–	⩾0,12	0,20–0,40	0,20–0,50	–	–	–	–	18	9,5	Ti	55–75	⩾27	⩾40	15	–
V 4 A	–	0,10	–	–	–	–	–	2	18	10	–	55–75	⩾25	⩾50	20	–
1 H 18 N 9 T	GOST 5632-51	⩽0,14	⩽2,0	⩽1,8	0,03	0,035	–	–	17–20	8–11	–	55	20	45	–	–
H18N12M2T	GOST 5632-51	⩽0,12	⩽2,0	⩽0,8	0,03	0,035	–	2–3	16–19	11–14	Ti=0,3–0.7	50–60	22	40	15	–

α — unghiul de îndoire, în grade ; d — diametrul dornului ; a — grosimea tablei în mm.

Tabela 6

Caracteristicile principale ale diferitelor tipuri de fontă

Felul fontei	STAS	Compoziția chimică, %							Duritatea Brinell *HB* kgf/mm²	Limita de rupere la tracțiune σ_r kgf/mm²	Alungirea relativă %	Forma grafitului
		C	Si	Mn	P	S max	Cr max	Mg				
Albă	—	3,0—3,5	max. 1	max. 1	max. 1	0,1	—	—	cca. 400	—	—	—
Cenușie	568-61	2—4	1-3	0,2—1,5	0,2—0,1	0,15	—	—	143—260	12—32	—	Grafitul lamelar
Maleabilă albă	569-56	2,8—3,2	0,7-1,1	0,3 0,6	max. 0,18	0,2	0,08	—	max. 200	30—40	6—3	Grafitul în cuiburi
Maleabilă neagră	569-56	2,2—3,0	0,7—1,5	0,3—0,6	max. 0,15	0,18	0,08	—	149—170	30—37	6—12	—
Cu grafit nodular	6071-59	2,8—3,5	2-3	max. 0,7	max. 0,15	0,03	—	0,04—0,08	157—269	40—60	2—10	Grafit sub formă de nodule
Refractară	—	1,5—3,2	1—7	0,3—1,4	0,3—0,5	0,1	0,6—3,0	Alte elemente: Al=7—23 % ; Ni=1—2 % ; V=maximum 0,1 %				
Rezistentă la acizi	—	0,3—3,2	1—18	0,6—1,5	0,1—0,8	0,12	2—6	Alte elemente: Ni=12—20 % ; Cu=5—8 % ; No=3—4 %				
Rezistentă la baze	—	2,8—3,2	1-3	0,3—0,5	0,2—0,4	0,1	—	Ni=maximum 3 %				

Tabela 7

Compozițiile chimice ale cuprului și aliajelor cu bază de cupru

Marca	STAS	Compoziția chimică, %					
		Cu	Zn	Sn	Ni	Alte elemente	Impurități
Cu E	270-62	99,95	—	—	0,002	—	rest
Cu 5		99,90	—	—	0,002	—	rest
Cu 9		99,50	—	—	0,200	—	rest
Am 60	95-59	60^{+2}_{-1}	37—41	—	—	rest	—
Am 63		63±1,5	35—38	—	—	rest	—
Am 70		70^{+2}_{-1}	28—31	—	—	rest	—
Am 80		80±1	19—21	—	—	rest	—
Am 85		85±1	14—16	—	—	rest	—
Am 90		90^{+1}_{-2}	9—12	—	—	rest	—
Bz 6	93-62	94±1	—	6±1	—	rest	—
Bz 8		92±1	—	8±1	—	rest	—

cu adaos de nichel (AT Cu Ni), cupru-siliciu (AT Si Cu), siliciu-magneziu (AT Si Mg) și siliciu-cupru-magneziu, cu adaos de nichel (AT Si Cu Mg Ni) ; rezistența de rupere la tracțiune a acestor aliaje este de 10—26 kgf/mm², iar alungirea 6—0,5%.

5. Nichelul și aliajele cu bază de nichel

Tablele de nichel în stare recoaptă conținînd peste 97% Ni au rezistența de rupere la tracțiune de 40—50 kgf/mm² și alungirea de 25—40% ; la piese turnate, aceste caracteristici scad la 30—40 kgf/mm², respectiv la 15—25%.

În general, în construcții, se utilizează aliajele cu bază de nichel conținînd cupru, mangan, fier, crom, cobalt și aluminiu, cunoscute sub denumirile de monel, monel K etc. Aceste aliaje au caracteristici mecanice superioare, și anume rezistențe de rupere la tracțiune pînă la 140 kgf/mm² și alungiri de 15—40%.

Tabela 8

Cuprul și aliaje cu bază de cupru

Caracteristici mecanice și utilizare

Produsul	Calitatea			Gradul de ecruisare[1])	Caracteristici mecanice	
	Denumirea	Simbol	STAS		σ_r kgf/mm² minimum	δ % minimum
Table	Cupru rafinat	CuE ; Cu 5 ; Cu 9	270-62 426-61	*m* $^1/_2 t$ *t*	20 25 30	30 10 5
	Alamă și tombac laminabile	Am 60 ; Am 63 ; Am 70 ; Am 80 ; Am 85 ; Am 90	95-59 289-57	*m* $^1/_2 t$ *t*	34—25 41—28 48—35	30—40 18—23 10
	Bronz cu staniu laminabil	Bz 6 ; Bz 8	93-51	*m* $^1/_2 t$ *t*	35—40 40—55 55—65	50 15 10
Plăci	Cupru rafinat	Cu 5 ; Cu 9	270-62 2429-57	*m* *t*	22—20 32—30	28—30 3—5
	Alamă și tombac laminabile	Am 60 ; Am 63 ; Am 70 ; Am 80 ; Am 85 ; Am 90	95-59 2430-57	*m* *t*	34—25 48—35	30—40 10—15
Țevi	Cupru rafinat	Cu 5	270-62 523-55	*m* $^1/_2 t$ *t*	22 26—24 32	28 10—15 3
	Alamă și tombac laminabile	Am 60 ; Am 63	95-59 521-49	*m* $^1/_2 t$	34—29 40—36	35—40 18—22
Piese turnate	Alamă turnată	AmT sau Am XT	199-60	—	18—55	20—5
	Bronz cu staniu	BzT sau Bz Zn T	197-60	—	20—15	2—10
	Bronz cu aluminiu	Bz Al T	198-49	—	30—40	18—20

[1]) *m* — moale ; $^1/_2$ *t* — jumătate tare ; *t* — tare

D. SUDABILITATEA METALELOR ȘI ALIAJELOR

Sudabilitatea metalelor este o caracteristică complexă care determină, în condiții de sudare date, capacitatea lor tehnică pentru realizarea unor anumite îmbinări. Se consideră că un material este sudabil, dacă prin aplicarea unei anumite tehnologii este potrivit pentru realizarea unei îmbinări care să corespundă condițiilor de exploatare date.

1. Grupe de sudabilitate

Din punctul de vedere al tendinței de fisurare la sudare, metalele se clasifică în :

— *perfect sudabile* (sau *sudabile*) acelea care dau îmbinări lipsite de defecte la aplicarea procedeelor de sudare obișnuite fără luarea măsurilor speciale de protecție ;

— *satisfăcător sudabile*, care realizează îmbinări sudate fără fisuri numai în condiții normale de execuție a sudurii (la temperaturi mai mari de 0°C, lipsa precipitațiilor atmosferice și a vîntului) și cu luarea obligatorie a unor măsuri de preîntîmpinare a formării fisurilor ;

— *limitat sudabile*, care, în condiții normale de sudare, au tendința de a forma fisuri, iar pentru evitarea acestora se impune luarea măsurilor speciale de protecție (preîncălzire, tratament termic, prelucrarea marginilor, fluxuri de sudură etc.) ;

— *rău sudabile*, a căror sudare nu este posibilă datorită formării fisurilor.

Sudabilitatea este influențată de o serie de factori de natură tehnologică, metalurgică, constructivă etc.

Factorii de natură tehnologică se referă la condițiile de realizare a îmbinării sudate cu sau fără aplicarea unei tehnologii speciale de protecție. Factorii de natură metalurgică se referă la modificările fizico-chimice care se produc în material sub influența din timpul sudării. Factorii de natură constructivă se referă la proprietățile de îmbinare a construcției în ceea ce privește sensibilitatea la fisurare a îmbinării sudate în funcție de forma construcției (grosimea peretelui, felul îmbinării etc.).

2. Controlul sudabilității

Problema sudabilității trebuie rezolvată pentru fiecare caz în parte prin încercări directe ; pentru aceasta trebuie să se determine sensibilitatea la fisurare și influența sudării asupra metalului, creîndu-se astfel posibilitatea stabilirii celui mai corespunzător procedeu de sudare, metal de adaos, tip de îmbinare, tehnologie de sudare etc. Aceste încercări se impun și pentru că structura metalului, compoziția chimică și caracteristicile mecanice nu caracterizează integral sudabili-

tatea. În cazul construcțiilor de răspundere, controlul sudabilității trebuie efectuat totdeauna.

Pentru oțelurile carbon și oțelurile slab aliate, controlul sudabilității cuprinde :

— la metalul de bază și de adaos — analiza chimică, încercarea la tracțiune, încercarea la îndoire și încercarea la reziliență ;

— la îmbinarea sudată a plăcii de control — examinarea aspectului exterior, încercări pentru determinarea rezistenței de rupere la tracțiune, reziliența, încercarea la îndoire, duritatea, controlul roentgenografic și metalografic.

3. Sudabilitatea oțelurilor carbon și a oțelurilor slab aliate

Influența factorilor de natură metalurgică. Compoziția chimică are o importantă influență asupra sudabilității oțelului.

Carbonul este elementul de bază care influențează sudabilitatea oțelului ; creșterea conținutului de carbon favorizează formarea de carburi, care conduc la mărirea sensibilității oțelului la călire. Compo-

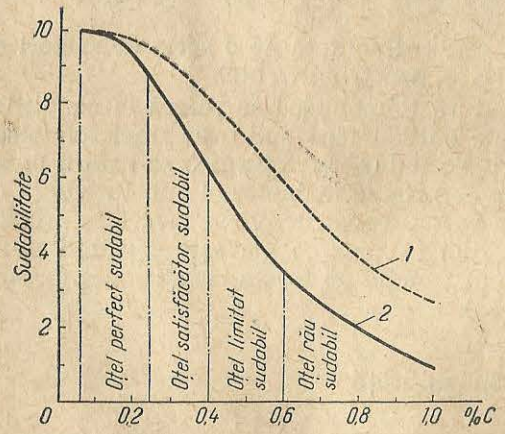


Fig. 13. Variația sudabilității în funcție de conținutul de carbon :
1 — sudare electrică; *2* — sudare cu gaz.

nenții structurii de călire avînd duritate mare, plasticitate și rezilienă reduse, favorizează producerea fisurilor. Cu cît conținutul de carbon crește cu atît sudabilitatea scade (fig. 13). Din această cauză, pentru

oțelurile carbon destinate construcțiilor de răspundere (cazane de abur, recipiente sub presiune, macarale etc.) normele tehnice limitează conținutul de carbon la maximum 0,27%.

Manganul, pînă la aproximativ 1%, este un element util din punctul de vedere al sudabilității, deoarece mărește rezistența și plasticitatea metalului cusăturii și reduce împrăștierea stropilor la sudare. Creșterea conținutului de mangan mărește sensibilitatea la călire a oțelului și prin aceasta favorizează apariția crăpăturilor.

Siliciul contribuie la repartizarea uniformă a elementelor în cusătura sudată. În cazul unui conținut mai mare decît 0,5%, ca și manganul, contribuie la formarea unei zgure vîscoase cu formare de incluziuni în sudură. La oțelurile bogate în crom, siliciul mărește fragilitatea.

Cromul influențează defavorabil sudabilitatea deoarece mărește considerabil sensibilitatea la călire a oțelului și influențează negativ plasticitatea îmbinării sudate. Oțelurile cu puțin crom, perlitice sau martensitice, se sudează în condiții speciale de lucru.

Nichelul favorizează formarea fisurilor în timpul sudării însă în măsură mai mică decît cromul sau manganul. Favorizează formarea unei granulații fine.

Molibdenul, pînă la 0,6% în oțelurile pentru cazane, permite realizarea unei suduri de calitate.

Vanadiul, în cantități mici, pînă la 0,5%, îmbunătățește sudabilitatea, contribuie la formarea unei granulații fine și reduce sensibilitatea oțelului la supraîncălzire, chiar la un conținut pînă la 0,1%. Vanadiul mărește stabilitatea termică a oțelului. La un conținut ridicat de vanadiu, oțelul devine sensibil la călire.

Sulful și fosforul influențează negativ sudabilitatea. Sulful determină fragilitatea la cald, iar fosforul fragilitatea la rece.

Aprecierea gradului de sudabilitate în funcție de compoziția chimică a oțelurilor slab aliate se poate face conform tabelei 9.

Tabela 9

Sudabilitatea oțelurilor slab aliate în funcție de compoziția chimică

Conținutul total de Cr, Ni, Mn, Si %	Conținut de carbon, %			
	Perfect sudabil	Satisfăcător sudabil	Limitat sudabil	Rău sudabil
Sub 1	⩽0,25	0,25—0,35	0,35—0,45	>0,45
1—3	⩽0,20	0,20—0,30	0,30—0,40	>0,40
Peste 3	⩽0,18	0,18—0,28	0,28—0,38	>0,38

La oţelurile slab aliate, aprecierea sudabilităţii, din punctul de vedere al compoziţiei chimice se poate face şi prin *conţinutul de carbon echivalent*, determinat cu relaţia

$$C_{ech}=C+\frac{Mn}{6}+\frac{Cr}{5}+\frac{V}{5}+\frac{Mo}{4}+\frac{Ni}{15}+\frac{Cu}{13}+\frac{P}{2},$$

în care fiecare element component este apreciat după influenţa pe care o exercită asupra oţelului în comparaţie cu carbonul. În formulă se introduc cantităţile procentuale ale elementelor, constatate la analiza chimică. Cu ajutorul carbonului echivalent, se calculează o valoare a durităţii în unităţi Vickers cu relaţia :

$$HV=1\,200\,C_{ech}-200.$$

Cînd valoarea depăşeşte cifra 350, se recomandă preîncălzirea oţelului.

Se consideră că pentru grosimi sub 30 mm, oţelurile prezintă o bună sudabilitate în cazul următoarelor valori :

$$C\leqslant 0{,}25\%$$

$$C+Mn\leqslant 1{,}40\%$$

$$C+Cr\leqslant 0{,}35\%$$

$$C+Ni\leqslant 3{,}00\%$$

$$C+Mo\leqslant 0{,}50\%$$

$$Cu\leqslant 0{,}60\%$$

$$C+V\leqslant 0{,}40\%$$

$$P+S\leqslant 0{,}10\%$$

$$C+Cr+Mo+V\leqslant 0{,}60\%.$$

Existenţa segregaţiilor şi a defectelor de exfoliere au un efect negativ asupra sudabilităţii. Dintre oţelurile cu conţinut redus de carbon, oţelurile calmate se comportă mai bine la sudare, au o tendinţă mai redusă la formarea fisurilor şi a incluziunilor, deoarece sînt mai pure, mai compacte, fără segregaţii sau exfolieri, elementele componente sînt mai uniform distribuite fără să formeze aglomerări locale.

Sensibilitatea la încălzire concentrată şi răcire rapidă la sudare cu formarea structurii de călire măreşte posibilitatea ruperilor fragile, chiar sub acţiunea tensiunilor create la sudare.

Factori de natură constructivă. Sudabilitatea este influenţată mai ales de grosimea pieselor, de felul îmbinării, de modul de prelucrare a marginilor etc.

Un alt element care influenţează sudabilitatea este grosimea pereţilor (fig. 14). Pericolul producerii fisurilor se măreşte datorită creşterii vitezei de răcire, gradului mărit de frînare a deformaţiilor plastice şi de supraîncălzire a metalului.

Forma şi dimensiunile rostului, respectiv volumul metalului de adaos, poziţia îmbinării în construcţia sudată, precum şi forma piesei favorizează apariţia fisurilor datorită tensiunilor mari create la sudare sau a eforturilor care solicită îmbinarea în timpul exploatării construcţiei sudate.

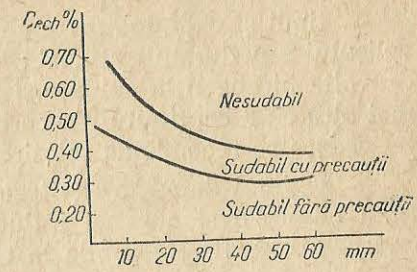


Fig. 14. Variaţia sudabilităţii oţelurilor în funcţie de grosimea pereţilor şi de carbonul echivalent.

Factori de natură tehnologică. Aceştia sînt cei mai numeroşi şi exercită o importantă influenţă asupra sudabilităţii, intervenind mai ales, în :

— procedeul de sudare aplicat ;

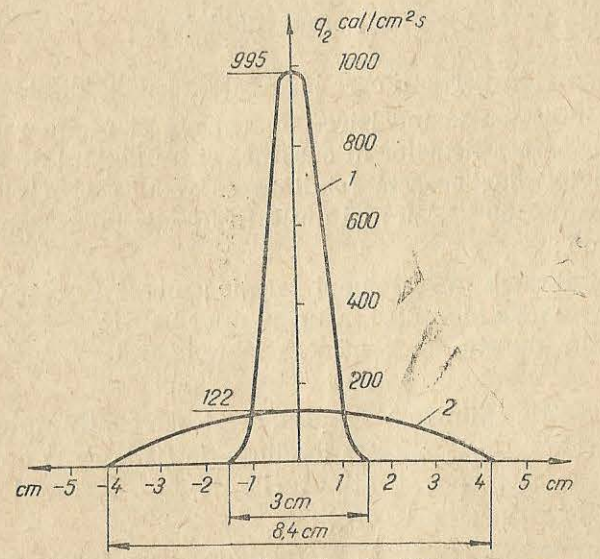


Fig. 15. Repartizarea fluxurilor de căldură la sudare :
1 — pentru sudarea cu arc electric; *2* — pentru sudarea cu gaz.

— tipul sursei de căldură ; comparativ cu sudarea cu gaz, la sudarea cu arc electric se realizează o încălzire concentrată (fig. 15), aceasta conducînd la o zonă influențată termic mai mică, tensiuni interne și deformații mai reduse ;

— tipul și calitatea metalului de adaos, compoziția chimică a învelișului sau fluxului utilizat ; electrozii acizi, celulozici sau cu rutil dezvoltă hidrogen la oxidare și favorizează formarea fisurilor la cald mai ales cînd conținutul de carbon depășește 0,25% (din acest punct de vedere se recomandă folosirea electrozilor cu înveliș bazic) ;

— regimul de sudare (viteza de sudare, viteza de răcire a metalului cusăturii și a zonei influențată termic) intervine mai ales la sudarea oțelurilor sensibile la călire ; intensificarea acestuia favorizează producerea ruperilor fragile ; sudarea la temperaturi joase ale atmosferei sau sub acțiunea vîntului ori a precipitațiilor atmosferice determină creșterea suplimentară a vitezei de răcire ;

— primul strat de sudură aplicat se caracterizează prin sensibilitatea la fisurare datorită volumului redus al metalului de adaos pe metalul de bază insuficient încălzit.

4. Sudabilitatea oțelurilor crom-molibden

Factorii mai importanți care influențează sudabilitatea sînt :

— sensibilitatea la încălzire concentrată și răcire rapidă cu tendința de formare a fisurilor în cusătură și în metalul de bază, în zona influențată termic ; această tendință se reduce prin preîncălzire la temperatura de 150 °C sau mai mult, în funcție de compoziția chimică și de grosime ;

— sensibilitatea la tratament termic ; metalul cusăturii își modifică caracteristicile mecanice în urma unor ușoare schimbări ale regimului termic (durata de menținere la temperatură, viteza de răcire etc.). ;

— compoziția chimică a oțelului, creșterea conținutului de carbon, peste limita de 0,15%, mărește tendința de fisurare la oțelurile semirefractare ; de asemenea, conținuturile de sulf, fosfor și azot trebuie să fie cît mai reduse ($N \leqslant 0{,}08\%$) ;

— conținutul de siliciu în metalul de adaos (peste 0,4% Si) este un factor care determină fragilitatea.

5. Sudabilitatea oțelurilor crom-nichel austenitice

Principalele fenomene care apar la sudarea acestor oțeluri și care influențează sudabilitatea sînt :

— fragilitatea la cald în cusătură și în metalul de bază (zona de influență termică) ; creșterea conținutului de siliciu mărește sensibilitatea la fisurare prin formarea unei pelicule intergranulare ;

— formarea și precipitarea carburei de crom în jurul grăuntelui austenitic ; carbura se formează prin încălzirea oțelului la 600—800 °C și determină diminuarea conținutului de crom în porțiunea învecinată, porțiunea fiind expusă coroziunii cînd conținutul de crom scade sub 12% ;

— formarea unui constituent intermetalic dur și fragil care imprimă oțelului sensibilitate la fisurare.

6. Sudabilitatea metalelor și aliajelor neferoase

Cuprul. Are o conductibilitate termică ridicată și este sensibil la supraîncălzire. Ca urmare, la sudare este necesară încălzirea întregii piese la temperaturi înalte, folosirea unor surse de încălzire cu debit caloric mare, evitîndu-se supraîncălzirea ; sudarea trebuie făcută cît mai repede și la temperaturi cît mai joase posibil. La temperaturi mai înalte de 600 °C, rezistența și plasticitatea cuprului scad, iar fragilitatea crește creînd posibilitatea formării crăpăturilor.

În stare topită, cuprul absoarbe gaze din atmosferă, cele mai dăunătoare fiind oxigenul și hidrogenul ; oxigenul formează oxidul cupros care se separă la marginea grăuntelui metalic și face cuprul casant, iar hidrogenul, mai ales în prezența oxidului cupros, produce fisuri (boală de hidrogen).

Alamele. Sudarea aliajului cupru-zinc întîmpină dificultăți similare cu cele de la sudarea cuprului ; în plus, intervine faptul că în timpul operației de sudare zincul din aliaj se evaporă și se oxidează formînd oxid de zinc toxic. Fenomenul are loc deoarece punctul de fierbere al zincului este apropiat de punctul de topire a alamei (aproximativ 900 °C). Ca rezultat, se modifică compoziția chimică a materialului îmbinării și apar incluziuni în metalul de adaos.

Se sudează cu o flacără oxidantă, excesul de oxigen provocînd formarea unei pelicule de oxid de zinc care, amestecat cu fluxul utilizat, împiedică evaporarea în continuare a zincului și preîntîmpină oxidarea suplimentară a metalului topit. Flacăra reducătoare favorizează

procesul de ardere a zincului. Sudarea trebuie făcută cît mai repede, evitîndu-se sudarea în mai multe straturi pentru a preîntîmpina supraîncălzirea metalului. Structura cu granulaţie mare a metalului cusăturii se îmbunătăţeşte prin ciocănire şi tratament termic.

Bronzurile. În general, sudarea este folosită numai pentru repararea pieselor turnate din bronz. La temperaturi înalte, bronzul îşi pierde rezistenţa mecanică ; formarea crăpăturilor la sudare se poate evita prin excluderea apariţiei oricărei solicitări a piesei.

Aluminiul şi aliajele cu bază de aluminiu. Principalele proprietăţi ale aluminiului care influenţează defavorabil sudabilitatea sînt :

— conductibilitate termică ridicată ; deşi temperatura de topire a aluminiului este redusă (650 °C) totuşi, datorită conductibilităţii termice mari, la sudare este necesară folosirea unei mari cantităţi de căldură, încălzirea întregii piese la temperaturi înalte, precum şi coeficientul mare de dilatare a aluminiului conducînd la formarea tensiunilor interne şi a deformaţiilor plastice mari ;

— la încălzire, aluminiul nu îşi schimbă culoarea din care cauză la sudare nu se poate aprecia vizual gradul de încălzire, dificultatea fiind mărită de faptul că topirea se produce brusc ;

— fragilitatea la temperaturi înalte care favorizează formarea fisurilor sub acţiunea tensiunilor interne ; deformarea şi crăparea pereţilor se preîntîmpină prin fixarea piesei pe suporturi ajustate cît mai exact ;

— în stare lichidă, aluminiul absoarbe cu aviditate oxigenul, iar oxidul format (Al_2O_3), inclusiv în metalul cusăturii, reduce rezistenţa îmbinării ;

— oxidul de aluminiu avînd punctul de topire ridicat (2050 °C) formează o pojghiţă solidă care împiedică sudarea ; îndepărtarea oxidului se poate realiza pe cale chimică prin utilizarea unor fluxuri care formează cu oxidul o zgură uşor fuzibilă şi care protejează metalul topit.

E. INFLUENŢA SUDĂRII ASUPRA METALULUI

În procesul de sudare au loc fenomene complexe care produc modificarea stării iniţiale a metalului.

1. Modificarea compoziţiei chimice

În baia de sudură au loc procese metalurgice, reacţii chimice între metalul topit şi mediul înconjurător (gaze, zgură) şi ca urmare compoziţia metalului depus poate diferi de cea a materialului folosit. Fe-

lul şi intensitatea reacţiilor chimice care au loc sînt determinate de compoziţia materialelor de bază şi de adaos, de compoziţia învelişului şi a fluxurilor, de procedeul de sudare, de regimul de sudare etc.

Procesul de oxidare se desfăşoară energic sub acţiunea oxigenului din mediul înconjurător (la întreruperea arcului sau a flăcării de sudură cînd metalul este în stare lichidă) cît şi sub acţiunea oxigenului din oxizii aflaţi în zgură. Carbonul, manganul, siliciul, cromul etc. pot arde, rezultînd zgură şi gaze.

2. Absorbţia gazelor

Metalul în stare lichidă absoarbe cu aviditate oxigen, azot, hidrogen din mediul înconjurător. Oxigenul, provoacă reducerea rezistenţei de rupere la tracţiune, a rezilienţei şi a durităţii (fig. 16). Oxigenul

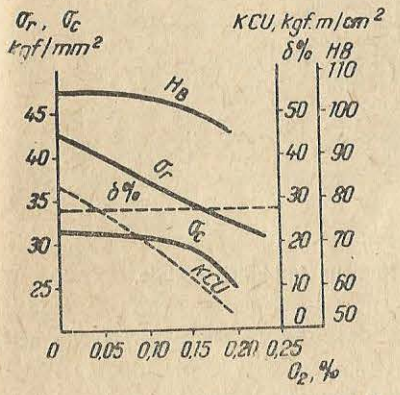


Fig. 16. Influenţa oxigenului dizolvat asupra caracteristicilor mecanice ale unui oţel carbon moale.

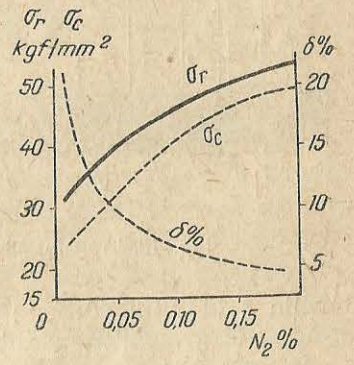


Fig. 17. Influenţa azotului asupra caracteristicilor mecanice ale unui oţel carbon moale.

sub formă de oxizi formează incluziuni care reduc compactitatea şi rezistenţa sudurii.

Azotul formează nitruri de fier, dure, care reduc plasticitatea metalului (fig. 17).

Hidrogenul dizolvat formează fisuri submicroscopice care ulterior pot genera crăpături.

3. Modificarea structurii

Datorită ciclului termic, la sudare, în zona îmbinării, dispare structura cristalină de laminare a metalului, iar structura rezultată este diferită în diversele zone ale îmbinării, funcție de temperatura maximă atinsă și de viteza de răcire. În fig. 18 sînt reprezentate fazele succesive de cristalizare într-o baie de sudură și în zona influențată

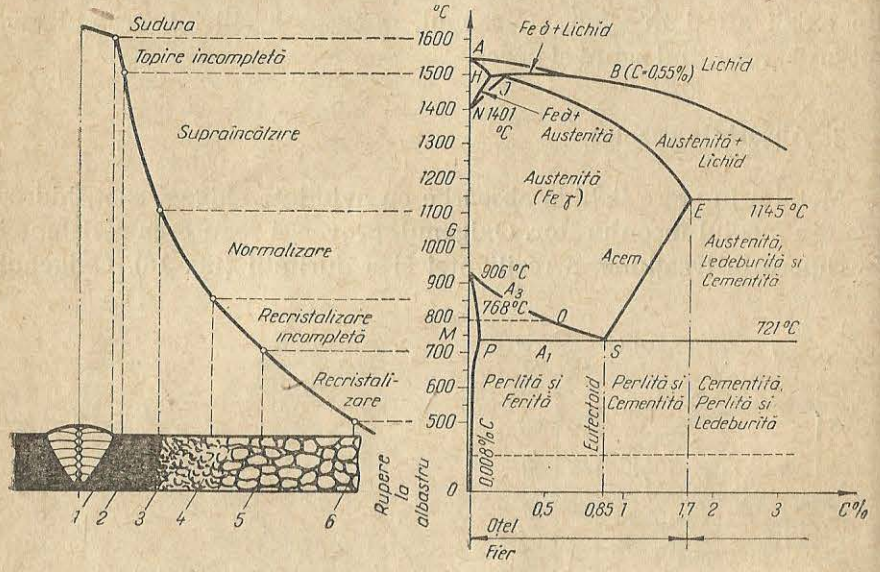


Fig. 18. Transformări structurale în zona îmbinării sudate.

termic a oțelului carbon ; în dreapta, este reprezentată partea din stînga a diagramei de echilibru Fe—C.

În zona de topire *1*, metalul depus are o granulație mare cu cristale columnare dispuse cu axa perpendicular pe fețele rostului. În zona de aliere *2*, constituită dintr-un amestec de metal topit și metal de bază supraîncălzit, granulația este mare. În cazul oțelurilor sensibile la încălzire concentrată și răcire rapidă, în această zonă apar structuri de călire, dure și fragile.

În metalul de bază, în zona de influență termică, apare o porțiune de supraîncălzire a metalului *3* cu granulație mare. În continuare, pe măsură ce temperatura de încălzire a metalului scade, urmează porțiunea de normalizare *4*, porțiunea de transformări parțiale *5*, după care metalul de bază are structura nemodificată *6*.

Lățimea zonei influențate termic depinde de procedeul de sudare aplicat, viteza de sudare, diametrul electrodului etc. La sudarea cu gaze, lățimea acestei zone este cu mult mai mare decît în cazul sudării cu arc electric. La metalele cu conductibilitate termică redusă și căldură specifică mare, zona de influență termică este îngustă.

F. TENSIUNI INTERNE ȘI DEFORMAȚII LA SUDARE

În timpul sudării, datorită unor factori, pot să apară tensiuni interne în elementele îmbinate sau chiar deformări permanente.

1. Factorii care determină formarea tensiunilor interne și a deformațiilor

Încălzirea neuniformă a metalului. Tensiunile interne apar numai în cazul cînd dilatarea și contracția liberă a piesei sînt împiedicate. Această frînare se întîlnește la sudurile în care căldura nu este repartizată uniform în piese, iar rigiditatea elementelor îmbinate împiedică deformația liberă. La sudare, piesa fiind încălzită local, rezultă zone diferite de încălzire, în funcție de distanța de la locul de aplicare a sursei de căldură. Cu cît încălzirea este mai puternică, cu atît metalul devine mai plastic. În zonele mai puțin încălzite sau reci, rigiditatea și rezistența metalului sînt mai mari și împiedică dilatarea liberă. Ca urmare, în metal apar în timpul încălzirii tensiuni de compresiune, iar la răcire tensiuni de întindere. La sudare, încălzirile și răcirile se succed pe linia de sudare și în piesă apare o stare complexă de tensiuni proprii și deformații.

Cînd tensiunile depășesc limita de curgere a metalului apar deformații plastice, iar după răcirea piesei în metal rămîn tensiuni (tensiuni remanente). Tensiunile termice mai mici dispar după răcirea piesei.

Contracția metalului. Reducerea de volum a metalului la răcire determină apariția tensiunilor și a deformațiilor. După direcția de acționare, contracția poate fi longitudinală, transversală, pe grosime și unghiulară (fig. 19). Diferitele deformații produse de contracția metalului sînt indicate în fig. 20.

Condițiile de execuție a sudurii. Felul și mărimea tensiunilor sînt influențate de cantitatea de căldură transmisă piesei la sudare și care

diferă în funcţie de procedeul de sudare aplicat, de tipul şi diametrul electrodului, de polaritate, de intensitatea curentului, de viteza de sudare, de stabilitatea regimului de încălzire, de temperatura mediului ambiant etc. Deformaţiile produse la sudarea cu gaz sînt mai mari de-

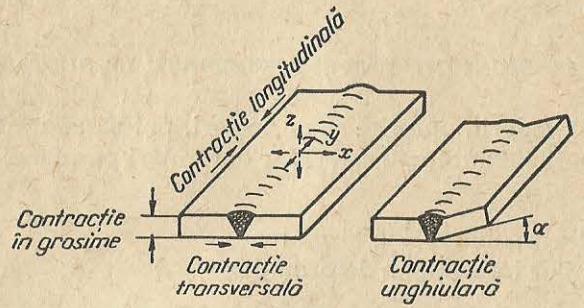


Fig. 19. Contracţii.

cît la sudarea cu arc electric, iar la sudarea în mediu de gaz protector, deformaţiile sînt minime.

Tensiuni structurale. Transformările structurale care se produc în metal la sudare (v. cap. 1. 5) sînt însoţite de schimbarea volumului

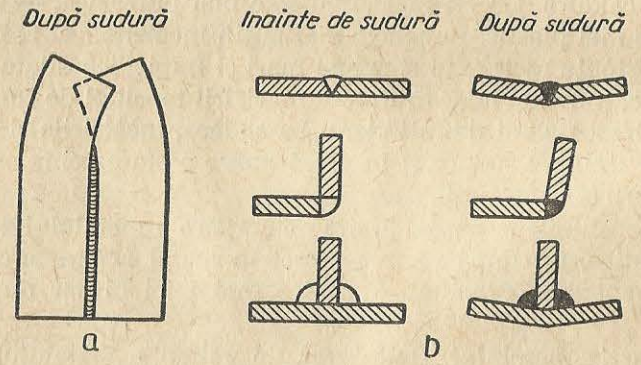


Fig. 20. Deformaţii datorită contracţiei metalului :
a — în cusături longitudinale; *b* — în cusături transversale.

cristalelor, ceea ce duce la apariţia tensiunilor interne. Aceste tensiuni prezintă importanţă numai în cazul oţelurilor cu conţinut mărit de carbon şi al oţelurilor aliate sensibile la călire, la care pot apare fisuri.

2. Influenţa tensiunilor interne şi deformaţiilor asupra construcţiilor sudate

Rezistenţa sudurii. Tensiunile interne nu influenţează rezistenţa sudurii în cazul solicitărilor statice. În cazul solicitărilor dinamice, acţiunea tensiunilor interne este legată de influenţa vitezei de răcire şi a temperaturii asupra apariţiei ruperilor fragile.

Rezistenţa construcţiei sudate. Rezistenţa construcţiei sudate este sensibil afectată de prezenţa tensiunilor interne care se pot însuma cu tensiunile produse de forţele exterioare care solicită construcţia, reducînd gradul de încărcare a construcţiei şi implicit siguranţa ei în exploatare. Influenţa tensiunilor interne poate fi limitată printr-o judicioasă alegere a formei construcţiei şi a plasării cusăturilor.

Deformaţiile plastice au un efect defavorabil asupra rezistenţei construcţiei sudate, mai ales cînd deformaţiile se află în zona sudurii şi sînt însoţite de tensiuni interne. Deformaţiile pot determina apariţia unor solicitări suplimentare importante care reduc siguranţa în exploatare a construcţiei.

3. Combaterea deformaţiilor şi a tensiunilor interne

Combaterea deformaţiilor. La stabilirea metodei de combatere, trebuie să se cunoască dacă efectul acesteia coincide cu scopul urmărit, deoarece sînt metode care duc la creşterea excesivă a tensiunilor interne şi la formarea fisurilor.

Combaterea tensiunilor interne. Prin preîncălzire se realizează încetinirea procesului de răcire la sudare şi se evită producerea unor structuri necorespunzătoare. Se aplică mai ales la sudarea oţelurilor aliate.

Temperatura de preîncălzire este condiţionată de compoziţia chimică care intervine prin valoarea carbonului echivalent, de grosimea piesei, de forma cusăturii, de natura şi de diametrul electrodului. Încălzirea se execută înainte de sudare şi deseori se menţine în tot timpul sudării pe întreaga lungime a îmbinării şi pe o lăţime de cel puţin zece grosimi a piesei în stînga şi în dreapta cusăturii. Încălzirea se realizează cu flacăra de gaz, cu curent electric, evitînd supraîncălzirea.

Preîncălzirea este obligatorie la :

— metalele care nu sînt perfect sudabile sau la acelea la care cu ocazia controlului sudabilităţii s-a stabilit necesitatea preîncălzirii (tabela 10) ;

Tabela 10

Preîncălzirea la sudarea sub 0 °C a tablelor

Oţelul	Temperatura minimă la sudare şi grosimea peretelui piesei, mm		
	maximum 10	11—16	Peste 16
Oţel carbon cu $\leqslant$0,20 % C	—20 °C fără preîncălzire	—20 °C fără preîncălzire	—20 °C cu preîncălzire la 100—200 °C
Oţel carbon cu 0,20—0,27 % C	—10 °C fără preîncălzire	—10 °C fără preîncălzire	—10 °C cu preîncălzire la 100—200 °C
Oţel carbon cu 0,28—0,33 % C	—10 °C fără preîncălzire	—10 °C cu preîncălzire la 250—400 °C	—10 °C cu preîncălzire la 250—400 °C
Oţel crom-molibden şi crom-molibden-vanadiu, mărcile : 12 MX, 15 MX, 15 X, 1 MF, 12 XMF, 12 X 2 MFB, 12 X 1 MF	—10 °C cu preîncălzire la 250—400 °C		

— la piesele mai groase de 10 mm, în cazul oţelului carbon cu conţinut de carbon mai mare de 0,28%, precum şi a oţelurilor crom, molibden, crom-molibden-vanadiu, indiferent de conţinutul de carbon.

Preîncălzirea este obligatorie şi în cazul sudării la temperaturi sub 0 °C şi de aceea se mai recomandă s u d a r e a î n s t r a t u r i m u l t i p l e.

Gradul de reducere a tensiunilor este influenţat de numărul de straturi de sudură din cusătură.

O altă metodă pentru combaterea tensiunilor constă din încălzirea sudurii şi a zonei de tensiuni de compresiune la temperatura care permite formarea deformaţiilor plastice în zona respectivă. Regimul de încălzire trebuie judicios ales. O aplicare necorespunzătoare a metodei poate să mărească acţiunea tensiunilor interne.

La sudarea manuală se realizează e g a l i z a r e a d e f o r m a ţ i i l o r prin aplicarea într-o anumită ordine şi sens de sudare a unor porţiuni scurte de sudură. La cusăturile lungi, metoda cea mai des folosită este sudarea în trepte inverse (fig. 21) sau în salturi. Porţiunile de sudură au lungimea de 150—200 mm. Sensul şi ordinea de sudare se aleg astfel ca deformaţiile să fie de sens contrar celor din

stratul anterior. În fig. 22 se arată efectul sudării continue şi în trepte inverse.

O altă metodă de reducere a tensiunilor este aceea prin care elementele de sudat se asamblează astfel, încît numai după sudare să se obţină forma cerută.

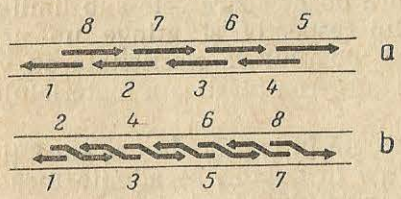


Fig. 21. Sudarea în trepte inverse în două straturi :

a — sudarea în două sensuri; *b* — sudarea într-un singur sens; *1*, *2*, *3* şi *4* — sensul de sudare a primului strat; *5*, *6*, *7* şi *8* — sensul de sudare pentru stratul al doilea.

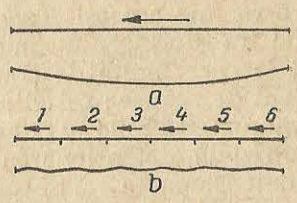


Fig. 22. Deformaţii în cazul sudării :

a — la sudarea continuă; *b* — la sudarea în trepte inverse.

Apariţia deformaţiilor plastice se exclude prin folosirea u n u i d i s p o z i t i v r i g i d, însă se măresc considerabil tensiunile remanente şi se favorizează apariţia fisurilor.

Î n d r e p t a r e a l a c a l d se poate aplica în cazul oţelurilor moi cu rezistenţă de rupere la tracţiune sub 45 kgf/mm², alungirea de minimum 20% şi rezilienţa mai mare de 6 kgfm/cm². Încălzirea locală a porţiunii stabilite se dirijează astfel, încît să rezulte o deformaţie de sens invers şi egală cu cea existentă.

Îndreptarea prin deformare plastică la rece nu este permisă.

Influenţa nefavorabilă asupra rezistenţei construcţiei sudate, exercitată de tensiunile interne şi de structura metalului realizate la sudare, poate fi eliminată prin t r a t a m e n t e t e r m i c e aplicate fie local, fie întregii piese.

G. TRATAMENTE TERMICE DUPĂ SUDARE

Tratamentul termic constă din încălzirea metalului pînă la o temperatură stabilită, menţinerea la această temperatură timp determinat, urmată de răcire ; încălzirea şi răcirea se fac cu o viteză stabilită.

1. Recoacere de detensionare

Se aplică oţelurilor care nu sînt perfect sudabile, oţelurilor cu conţinut redus de carbon dar cu grosime mai mare, precum şi tuturor materialelor la care se indică aplicarea acestui tratament.

Prin detensionare se realizează reducerea tensiunilor interne, dar nu se modifică structura metalului, astfel încît structura obţinută la sudare rămîne aceeaşi. Temperatura de încălzire este sub limita critică de transformare a materialului respectiv şi atinge un anumit punct la care limita de curgere şi modulul de elasticitate au valori suficient de reduse ; astfel are loc curgerea plastică a materialului şi, ca urmare, tensiunile se reduc.

De regulă, detensionarea se execută în cuptor. În caz excepţional, cînd detensionarea nu se poate face în cuptor, se admite încălzirea porţiunii respective cu respectarea regimului termic.

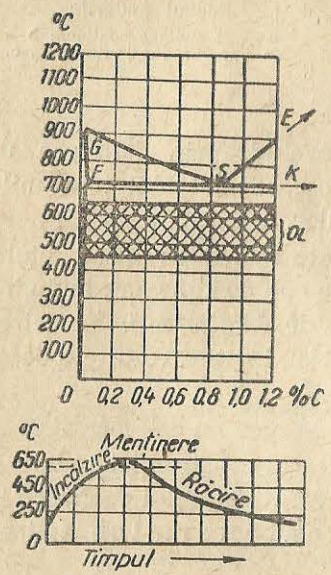


Fig. 23. Limitele de temperatură şi conducerea încălzirii la recoacerea de detensionare.

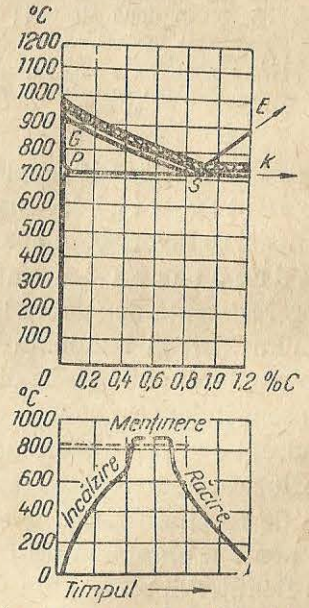


Fig. 24. Limitele de temperatură şi conducerea încălzirii la normalizare.

Regimul termic (fig. 23) se stabileşte în funcţie de compoziţia materialului şi de grosimea peretelui piesei. În cazul oţelului carbon, încălzirea se face cu o viteză de circa 150 °C/h, pînă la temperatura

de 600—650 °C la care se menţine timp de 2—3 min pentru fiecare milimetru de grosime a peretelui, dar în total cel puţin 30 min. Răcirea se face lent şi piesa se scoate din cuptor cînd temperatura a ajuns la 200 °C.

2. Recoacere de normalizare

Prin acest tratament termic (fig. 24) se realizează modificarea structurii materialului, rezultînd o structură fină şi uniformă. Prin aceasta se îmbunătăţeşte plasticitatea materialului, se măreşte tenacitatea lui, iar duritatea scade.

Timpul de menţinere la temperatura stabilită este de 1—2 min pentru fiecare milimetru de grosime de perete, dar total cel puţin 30 min. Se realizează o structură cu granulaţie mai fină în cazul cînd încălzirea peste linia critică de transformare şi răcirea pînă la această linie se execută cu o viteză mai mare.

3. Recoacere completă

Regimul termic este similar cu cel de normalizare, însă răcirea este mai lentă o dată cu cuptorul, cu o viteză de 50—70 °C/h, pînă la temperatura de 300 °C, după care răcirea se poate face în aer liniştit. Se obţin valori mai reduse pentru duritate şi rezistenţa de rupere la tracţiune. Menţinerea timp mai îndelungat la temperatura de recoacere, modifică structura (granulaţia se măreşte).

Pentru cazanele de abur şi recipiente sub presiune, recoacerea de normalizare se prescrie în cazul :

— tamburelor, colectoarelor, recipientelor şi elementelor de conductă, construite din oţel cu conţinut redus de carbon, cu grosimea peretului mai mare de 35 mm ;

— tamburelor, colectoarelor şi recipientelor, construite din oţel refractar, cu grosimea mai mare de 10 mm ;

— tamburelor, colectoarelor şi recipientelor, construite din oţel aliat, indiferent de grosime, cînd aplicarea tratamentului termic este prevăzută în condiţiile tehnice.

H. DEFECTELE SUDURILOR

Defectele de sudură influenţează în mod diferit rezistenţa construcţiei sudate. Admiterea unui defect trebuie făcută în conformitate cu normele tehnice care reglementează execuţia şi controlul sudurii, pre-

cum și în funcție de caracteristicile constructive și condițiile de lucru ale construcției sudate.

Lipsa defectelor exterioare nu exclude existența defectelor interioare ; de aceea calitatea sudurii nu poate fi stabilită numai după aspectul exterior al acesteia.

Există o mare diversitate de defecte, unele comune, altele specifice diferitelor procedee de sudare și materiale. În STAS 7084-64 se stabilește terminologia și se clasifică defectele la sudarea prin topire și sudarea prin presiune.

1. Defectele la sudarea prin topire

a. **Defectele de pregătire și asamblare.** *Unghiul necorespunzător al rostului.* Prelucrarea marginilor tablelor s-a executat sub un unghiu diferit de unghiul indicat sau unghiul nu este uniform de-a lungul îmbinării (fig. 25).

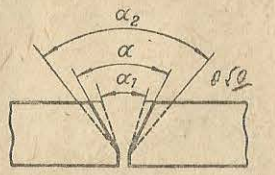


Fig. 25. Defect de prelucrare a unghiului rostului :
α — unghiul corespunzător; α_1 și α_2 — unghiuri necorespunzătoare.

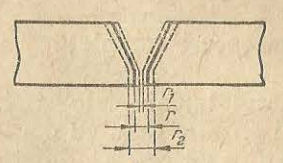


Fig. 26. Defect de prelucrare a deschiderii rostului :
r — deschiderea rostului corespunzătoare; r_1 și r_2 — deschideri ale rostului necorespunzătoare.

Deschidere necorespunzătoare a rostului. Deschiderea rostului este mai mică sau mai mare decît cea prescrisă sau deschiderea nu este uniformă de-a lungul îmbinării (fig. 26).

Rădăcina necorespunzătoare a rostului. Prelucrarea marginilor tablelor de sudat s-a executat astfel, încît rădăcina rostului este diferită decît cea indicată, sau aceasta nu este uniformă de-a lungul îmbinării (fig. 27).

Denivelarea marginilor. Marginile pieselor de aceeași grosime sau de grosime diferită sînt denivelate datorită asamblării necorecte sau a neprelucrării peretelui mai gros (conform STAS 6662-62), iar diferența de nivel depășește limita admisibilă (fig. 28).

Impurități pe marginile de îmbinare a pieselor. Curățirea necorectă a suprafețelor care prezintă impurități dăunătoare calității sudurii (ulei, grăsimi, vopsea, umezeală, zgură, pelicule de oxizi etc.).

b. **Defectele de formă geometrică și dimensiuni.** *Cusătura deplasată de axa rostului.* În fig. 29 se prezintă o asemenea cusătură.

Îngroșarea necorespunzătoare a cusăturii. Îngroșarea depășește limita prescrisă și nu realizează o trecere lină la suprafața materialului de bază (fig. 30).

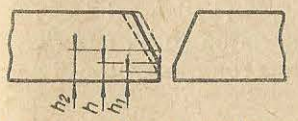


Fig. 27. Defect de prelucrare a rădăcinii rostului :
h — înălțimea teșită corespunzătoare; h_1 și h_2 — înălțimi teșite necorespunzătoare.

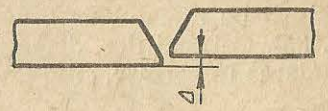


Fig. 28. Denivelarea marginilor :
Δ — valoarea denivelării.

c. **Defecte exterioare și interioare.** *Crater.* Craterul este adîncitura care rămîne la extremitatea unei cusături după întreruperea procesului de sudare, cînd metalul de adaos se ridică brusc, iar arcul electric sau flacăra se întrerupe. Poate apare și la capetele cusăturii cînd

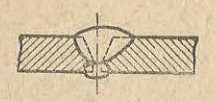


Fig. 29. Cusătură deplasată față de axa rostului.

Fig. 30. Îngroșarea necorespunzătoare a cusăturii.

sudarea nu începe și nu se termină pe plăci montate la capetele îmbinărilor (fig. 31).

Crestături marginale. Crestăturile marginale sînt canale în metalul de bază, lîngă marginea cusăturii, de-a lungul acesteia, cu adîn-

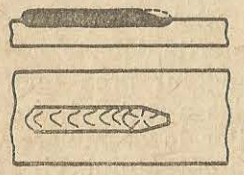


Fig. 31. Crater.

Fig. 32. Crestături marginale.

cime și lungime diferită (fig. 32). Crestăturile apar mai ales cînd intensitatea curentului este prea mare sau poziția și conducerea electrodu-

lui nu sînt corecte. La sudarea în cornișă și la sudarea în T, crestăturile apar mai ales la marginea superioară a cusăturii.

Crestăturile marginale au efect de crestătură cu concentrarea locală a tensiunilor create de forțele exterioare, favorizînd producerea fisurilor, mai ales în cazul construcțiilor cu solicitări dinamice.

Scurgeri de metal topit. Metalul topit se scurge peste marginile cusăturii pe metalul de bază netopit, fără a realiza alierea cu acesta (fig. 33). Cel mai des, defectul apare la sudarea în T, sudarea în colț și sudarea în cornișe, cînd poziția și conducerea electrodului sau a flă-

Fig. 33. Scurgeri de metal topit.

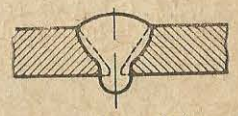


Fig. 34. Străpungere.

cării nu sînt corespunzătoare. Defectul poate apare și cînd intensitatea curentului este prea mare, forma și dimensiunile rostului nu sînt corespunzătoare etc.

Străpungere. În timpul sudării, metalul de bază este perforat prin topire, iar metalul lichid, scurs, formează creste la rădăcina cusăturii (fig. 34). Defectul se produce cînd deschiderea rostului este prea mare sau rădăcina rostului este prea mică și metalul de bază se topește repede în această porțiune. Străpungerea creează rezistențe în circulația fluidului, iar la țevile fierbătoare sau la țevile ecran ale cazanelor, favorizează producerea crăpăturilor în material.

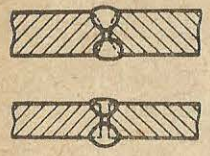


Fig. 35. Nepătrundere.

Nepătrundere. Defectul apare în cazul netopirii metalului de bază sau a stratului depus anterior. După locul unde se găsește, există nepătrundere între straturi, nepătrundere la rădăcina cusăturii unilaterale sau bilaterale (fig. 35). Nepătrunderea poate apare datorită defectelor de prelucrare sau de asamblare (unghiul prea mic al rostului, deschiderea prea mică a rostului, înălțimea prea mare a rădăcinii, denivelarea marginilor la asamblare etc.) ; regim necorespunzător de sudare (intensitatea curentului, viteza de sudare, diametrul electrodului) ; tehnologia incorectă de sudare, încălzirea electrodului și intensificarea topirii lui față de încălzirea insuficientă a metalului de bază, prezența impurităților (zgură, oxizi) pe suprafețele de îmbinare sau pe stratul depus anterior și care împiedică topirea materialului.

Un caz particular de nepătrundere este lipsa de aliere pe marginea cusăturii. Defectul se caracterizează prin lipsa de legătură metalică între metalul de bază și metalul depus ; între acestea există numai o slabă aderență și deseori pe suprafața de contact există strat de oxizi.

Lipsa de interpătrundere poate fi totală sau locală, pe una din fețele rostului. Lipsa de aliere are un efect similar cu cel al fisurilor și se poate produce datorită poziției și a conducerii necorecte a electrodului, din care cauză una din fețele rostului se încălzește insuficient, regimului de sudare incorect, defectelor de prelucrare sau de asamblare etc.

Incluziuni gazoase. Incluziunile gazoase reprezintă goluri în metalul cusăturii sau la suprafața sa, datorită gazelor care la răcirea metalului depus au rămas incluse în acesta. Incluziunile au formă rotundă sau alungită cu pereții netezi, distribuite local sau grupate în linie.

Gazele se formează din reacțiile care au loc la sudare și se produc în cantitate mai mare cînd marginile de sudat nu sînt curățite corect sau sînt umede, ori învelișul electrodului este umed.

Formarea incluziunilor gazoase este favorizată de viteza mare de sudare, viteza mare de răcire, eficiența termică redusă a sursei de căldură și fluidizarea redusă a metalului lichid, polaritate greșită etc. Incluziunile gazoase se formează mai ales în primul strat de sudură, la reînceperea procesului de sudare etc.

Incluziuni nemetalice. Părțile nemetalice rămase în metalul depus pot fi de formă microscopică (depuse în interiorul sau la marginea cristalelor) și microscopică, de mărime diferită, cu marginile neregulate. De obicei, ele sînt silicați, oxizi, sulfuri etc., fiind rezultatul reacțiilor metalurgice care au loc la sudare. În condițiile normale, zgura formată se ridică la suprafața cusăturii. Particulele de zgură pot rămîne în metalul depus cînd fluiditatea metalului topit este redusă, viteza de sudare și de răcire sînt mari, stratul aplicat anterior nu este corect curățit de zgură, marginile de sudat prezintă impurități, zgură, peliculă de oxizi de la tăierea cu flacăra etc.

Fisuri. Acestea sînt discontinuități produse prin ruperi locale de material sub acțiunea tensiunilor proprii care depășesc limita de rezistență a materialului din zona respectivă. Fisurile reduc secțiunea efectivă a cusăturii și formează locuri de concentrare a tensiunilor pentru care fisurile au tendința de a crește în dimensiune, mai ales cînd cusătura este supusă unor solicitări dinamice, provocînd distrugerea construcției sudate.

După dimensiuni, se deosebesc fisuri submicroscopice, fisuri microscopice și fisuri macroscopice. După locul de apariție sînt fisuri în metalul depus, fisuri în zona de influență termică, fisuri în crater.

După direcția de așezare fisurile pot fi longitudinale, transversale și radiale, iar după temperatura la care apar, fisuri la cald și fisuri la rece.

Factorii principali care favorizează formarea fisurilor sînt :

— compoziția chimică a materialului de bază, proprietățile termofizice în structura acestuia, modul de elaborare a oțelului (oțelurile susceptibile de a da structuri de călire la sudare sînt sensibile la fisurare în zona de supraîncălzire) ;

— condițiile de execuție a sudurii, regimul de sudare, viteza de răcire, temperatura mediului în care se sudează, procedeul de sudare, tipul electrodului ;

— caracteristicile constructive, grosimea piesei, rigiditatea construcției, tipul de îmbinare (tendința la fisurare crește cu grosimea piesei cînd nu se aplică măsuri tehnologice corespunzătoare) ;

— prezența hidrogenului dizolvat în metalul topit și care, la răcire, se separă creînd incluziuni gazoase cu presiuni interioare foarte mari, cauză a formării microfisurilor.

Sudura supraîncălzită. Se produce cînd viteza de sudare este prea mică în raport cu grosimea piesei și energia termică a sursei de căldură. Sudura cu structura de supraîncălzire are caracteristici mecanice necorespunzătoare.

Sudura arsă. Arderea materialului la sudare înrăutățește considerabil proprietățile mecanice ale sudurii.

d. **Defectele de structură, compoziție chimică și proprietăți mecanice.** *Structura necorespunzătoare.* Structura necorespunzătoare nu asigură sudurii proprietățile cerute (rezistența la tracțiune, la uzură, la coroziune etc.).

Compoziție chimică necorespunzătoare. Compoziția chimică necorespunzătoare a metalului depus se referă la cazurile cînd este diferită de compoziția chimică prescrisă.

Caracteristici mecanice necorespunzătoare. Cusătura are caracteristici mecanice diferite de cele prescrise.

2. Defectele la sudarea prin presiune

La sudarea cap la cap în stare solidă sau prin topire intermediară, defectele care pot să apară se referă mai ales la dimensiuni.

Abatere față de coaxialitate. Această abatere se datorește uzurii fălcilor de strîngere sau prinderii greșite.

Alte defecte se referă la *lipsa de interpătrundere, totală sau parțială, între piesele de sudat, fisuri, sudură supraîncălzită și zona supra-*

încălzită în dreptul pieselor de contact, respectiv structura de supraîncălzire apare în locurile de prindere a electrozilor de contact.

La sudarea prin puncte și în linie pot apărea defecte de pregătire : *impurități pe suprafețele de îmbinare a pieselor, suprapunere necorespuzătoare și relief necorespunzător.*

Defectele interioare și exterioare sînt : *lipsa de interpătrundere, sudura supraîncălzită, fisuri, punct de sudură asimetric, punct de sudură cu secțiune necorespunzătoare, amprentă adîncă și metal expulzat.*

I. CONTROLUL CALITĂȚII ÎMBINĂRILOR SUDATE

Îmbinările sudate se controlează cu multă atenție, controlul fiind efectuat în stadiul final, respectiv după executarea îmbinărilor, în timpul execuției, precum și înainte de începerea lucrărilor de sudare.

Controlul înainte de începerea lucrărilor comportă verificarea proprietăților metalului de bază, precum și a celui de adaos.

Controlul în timpul sudării se referă la verificarea dimensională, de aspect și uneori asupra defectelor interne, a marginilor de sudat, a straturilor de sudură depuse etc. ; prin acest control se urmărește stabilirea exactității prelucrării marginilor, a rostului, curățirea straturilor depuse succesiv, defecte în metalul depus sau ale marginilor etc.

În stare finală, pentru îmbinările executate prin topire, se urmărește verificarea dimensiunilor, precum și a defectelor interioare și exterioare ale cusăturii, prin diverse mijloace de control (tabela 11).

Controlul aspectului și al dimensiunilor cusăturii se execută pe produsul sudat, pe întreaga lungime a acestuia.

Analiza microscopică și încercările mecanice se execută pe epruvete scoase din plăcile de control, executate o dată cu îmbinarea sudată a produsului și în aceleași condiții, respectiv cu aceeași tehnologie de sudare ; în mod curent, plăcile de control trebuie executate în continuarea cusăturii sudate a produsului, prin prinderea plăcii de elementul care se sudează și numai în cazuri în care acest lucru nu este posibil separat. Numărul acestor probe se fixează prin diverse normative tehnice sau prin proiect, iar dimensiunea lor trebuie să permită scoaterea a cel puțin unui număr dublu de epruvete (pentru probe și contraprobe).

În ceea ce privește controlul prin ultrasunete, roentgenografic sau cu raze γ, magnetic etc., se execută direct pe produsul sudat în anumite procente, funcție de importanța construcției respective.

Tabela 11

Defecte la sudarea prin topire

Grupa	Felul defectului	Modul de control
Defecte de formă geometrică și dimensiuni	Cusătură neuniformă, cusătură deplasată sau îngroșare necorespunzătoare a cusăturii	Examinarea vizuală și măsurători cu șublerul sau control cu șabloane
Defecte exterioare și interioare	Cratere, cusături marginale, scurgere de metal topit, nepătrundere, străpungere, incluziuni gazoase sau nemetalice, fisuri, sudură supraîncălzită sau arsă	Examinare vizuală, măsurători, control cu ultrasunete, roentgenografic, cu raze gamma, magnetic și analiză metalografică în secțiunea respectivă
Defecte de structură, compoziție chimică și proprietăți mecanice	Structură necorespunzătoare	Analiză metalografică
	Compoziție chimică necorespunzătoare	Analiză chimică
	Caracteristici mecanice necorespunzătoare	Încercări mecanice și tehnologice

1. Controlul aspectului și dimensiunilor

Examinarea aspectului se efectuează numai după curățirea îmbinărilor, de zgură, de scorii, murdărie etc.

Verificarea dimensiunilor se face cu șabloane sau șublere speciale (fig. 36), iar controlul aspectului cu ochiul liber sau cu aparate de mărit obișnuite, respectiv lupe, microscoape portative etc.

În acest control nu se admit :

— crăpături în cusătură sau în zona influențată termic ;

— șanțuri la margine sau în cusătură ;

— denivelări ale marginilor elementelor îmbinate sau abateri ale dimensiunilor cusăturii peste limitele admise în desen ;

— cratere în cusătură, suprafață spongioasă sau cu pori ;

— trecerea bruscă de la metalul de adaos la cel de bază ;

— axa longitudinală să nu fie frîntă sau secțiunea interioară în dreptul sudurii să nu depășească, în cazul elementelor tubulare, abaterile admise în desen ;

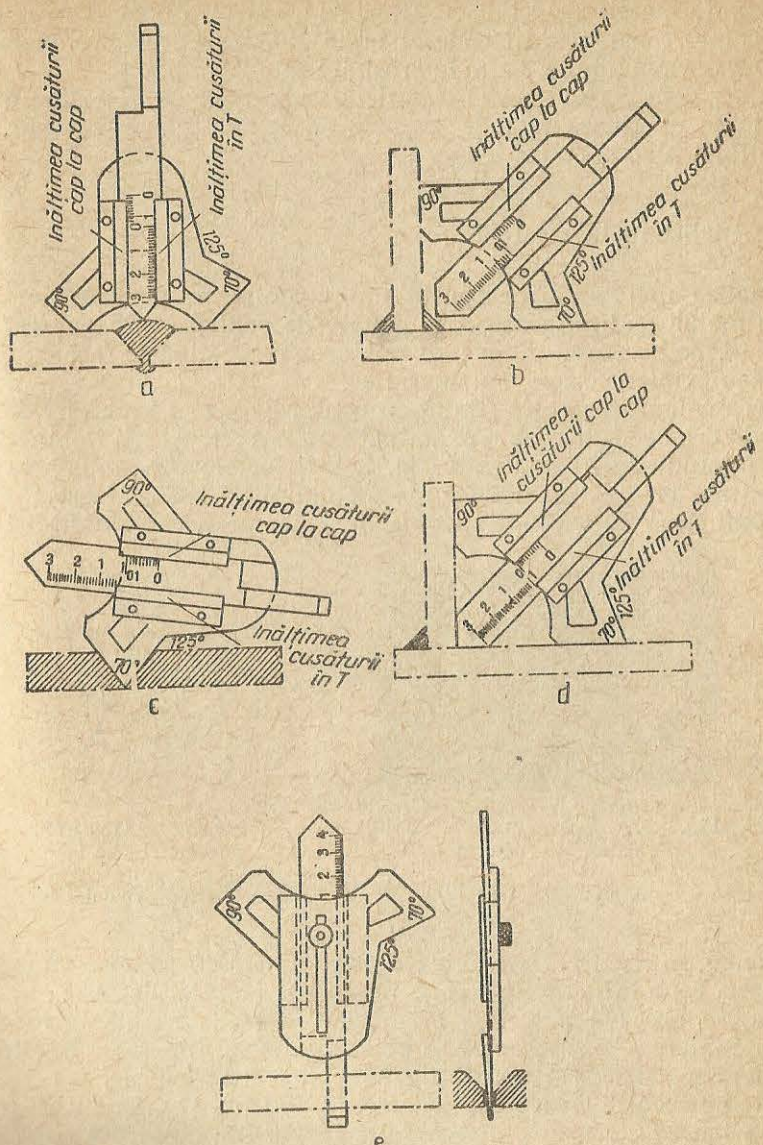


Fig. 36. Verificarea dimensiunilor cusăturii cu ajutorul șublerului pentru sudură :

a — cap la cap; *b* — în T; *c* — verificarea unghiului rostului; *d* — perpendicularitatea tablelor; *e* — deschiderea rostului.

— neformarea rădăcinii cusăturii ; la suduri numai dintr-o parte şi fără inel sau placă, în general peste 15% din grosimea metalului de bază, dar maximum 3 mm la grosimi peste 20 mm.

În cazul în care se urmăreşte depistarea unor defecte fine de suprafaţă se utilizează metode speciale de control ca : substanţe fluorescente, lichide penetrante etc.

2. Analiza metalografică

Analiza metalografică constă din examinarea suprafeţelor unor probe metalografice, scoase din plăcile de control, care au fost pregătite în mod corespunzător ; examinarea respectivă se face cu ochiul liber sau la microscoape metalografice.

Dacă examinarea este făcută cu ochiul liber sau la măriri de pînă la 50 de ori, se realizează o examinare a macrostructurii îmbinării sudate, punîndu-se în evidenţă (fig. 37), defectele din îmbinare, zona influenţată termic sau defecte ale metalului de bază. Macrostructura se examinează pe suprafeţe de ruptură sau pe probe şlefuite şi apoi

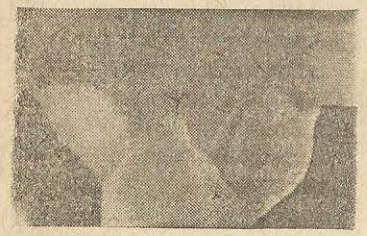


Fig. 37. Macrostructura unei suduri cu defecte.

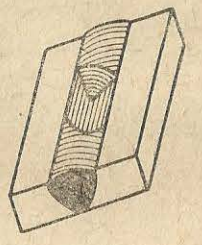
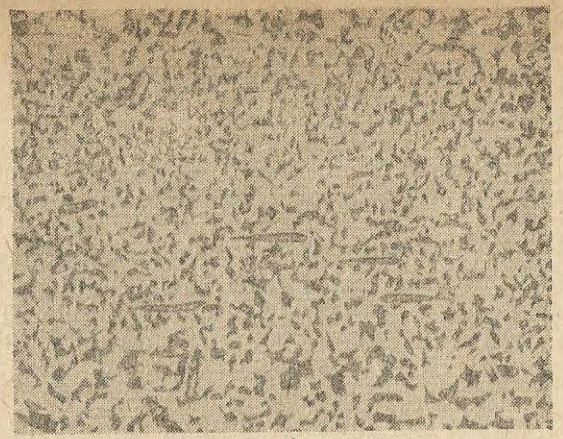


Fig. 38. Găurirea cordonului de sudură pentru controlul vizual.

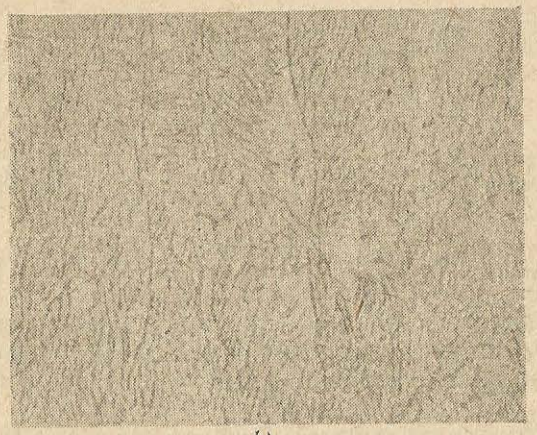
atacate cu un reactiv. În macrostructura din fig. 37 se observă metalul de adaos, zona influenţată termic precum şi metalul de bază ; de asemenea, se observă defectele care apar în îmbinare (nepătrundere).

Examinarea macroscopică se poate realiza şi direct pe construcţia sudată prin găurirea cusăturii (fig. 38) cu o freză conică.

Examinarea microscopică se efectuează în mod obişnuit la măriri de 100 sau 300 ori, pe probe şlefuite foarte fin şi atacate cu reactivi corespunzători. Prin această examinare, se pot aprecia structura metalului de bază (fig. 39, *a*), de adaos (fig. 39, *b*) şi a zonei influenţată termic (fig. 39, *c*), mărimea grăunţilor, eventuale defecte etc.



a)



b)

c)

Fig. 39. Microstructura unei îmbinări sudate.

3. Încercări mecanice şi tehnologice

Încercările mecanice şi tehnologice se execută în scopul verificării caracteristicilor respective şi a capacităţii de deformare a îmbinărilor sudate.

a. **Încercarea sudurilor cap la cap.** Încercările se execută pe epruvete scoase din plăcile de control. Forma, dimensiunile şi condiţiile de încercare ale epruvetelor trebuie să satisfacă cerinţele STAS 5540-57.

Epruvetele se prelucrează numai prin aşchiere fiind interzisă ecruisarea, încălzirea sau altă operaţie care ar putea modifica structura metalului.

Îndreptarea epruvetelor nu este permisă, admiţîndu-se însă o îndoire (fig. 40) de maximum 10% din grosimea piesei celei mai subţiri,

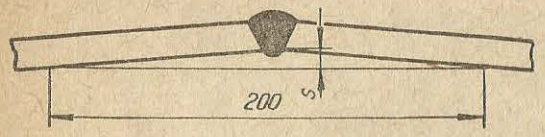


Fig. 40. Îndoirea epruvetelor cap la cap : *s* — îndoirea maximă admisă.

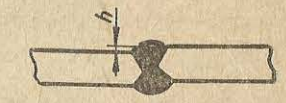


Fig. 41. Deplasarea marginilor la epruvete sudate.

la piese pînă la 40 mm grosime, şi de maximum 4 mm, la piese peste 40 mm grosime.

De asemenea, se admite o deplasare (fig. 41) a marginilor cu maximum 15% din grosimea piesei celei mai subţiri la piese pînă la 25 mm grosime şi de maximum 4 mm pentru piese peste 25 mm grosime.

Încercările care se fac pentru sudurile cap la cap sînt :

— încercarea la tracţiune pe două epruvete, iar în cazul ţevilor cu diametrul exterior peste 40 mm pe trei epruvete ;
— încercarea de rezilienţă pe trei epruvete ;
— încercarea durităţii ;
— încercarea la îndoire pe două epruvete ;
— încercarea la turtire a ţevilor pe două epruvete ;
— încercarea tehnologică de rupere.

Forma şi dimensiunile epruvetelor trebuie să corespundă indicaţiilor din fig. 42—48 şi din tabelele 12 şi 13.

Atît la epruvete pentru încercarea de rezilienţă cît şi pentru cele de duritate, punerea în evidenţă a cusăturii, la oţeluri, se face prin atacarea suprafeţei cu soluţie de 5% acid azotic şi 95% alcool etilic.

Crestătura la epruvetele de rezilienţă poate fi făcută atît în cusătură cît şi în zona influenţată termic ; în general, crestătura se face

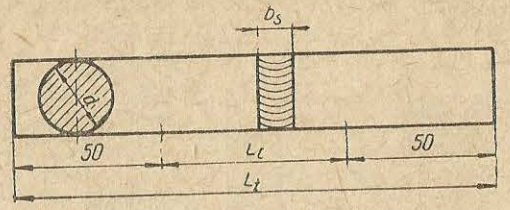


Fig. 42. Epruvetă pentru îmbinări la oţelul rotund.

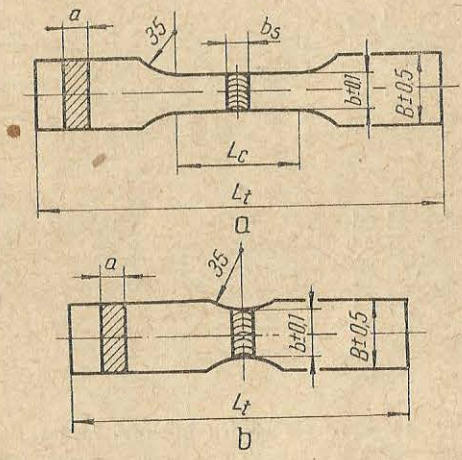


Fig. 43. Epruvete pentru îmbinări la table : *a* — epruvetă plată pentru îmbinare; *b* — epruvetă redusă pentru cusătură.

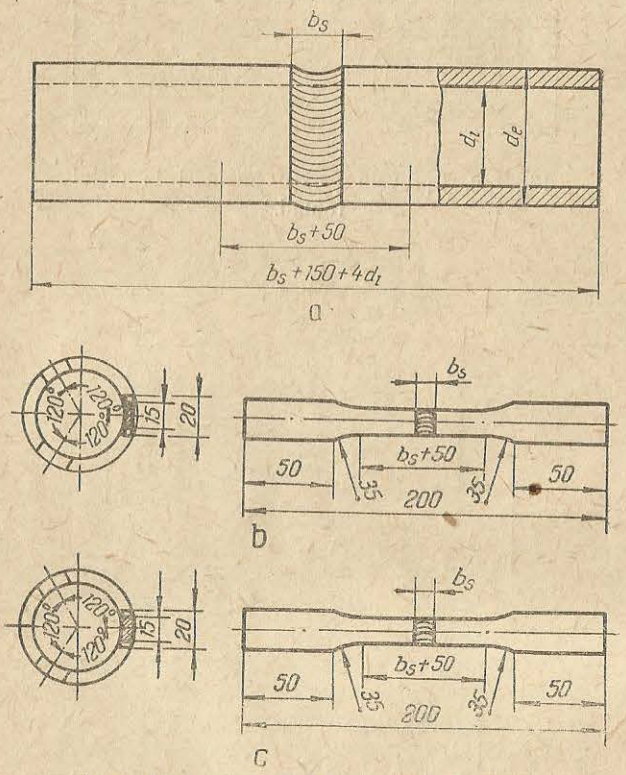


Fig. 44. Epruvete pentru îmbinări la țevi:
a — epruvete pentru țevi întregi; *b* — epruvete pentru țevi prelucrate; *c* — epruvete pentru țevi neprelucrate.

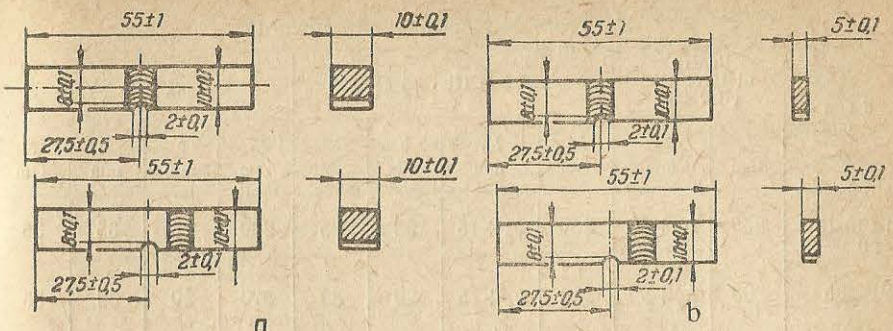


Fig. 45. Epruvete pentru încercarea de reziliență:
a — cu grosimea de 10 mm; *b* — cu grosimea de 5 mm.

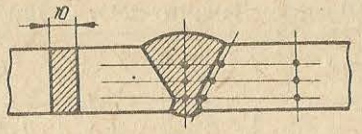


Fig. 46. Epruvetă pentru încercarea durității la sudură cap la cap.

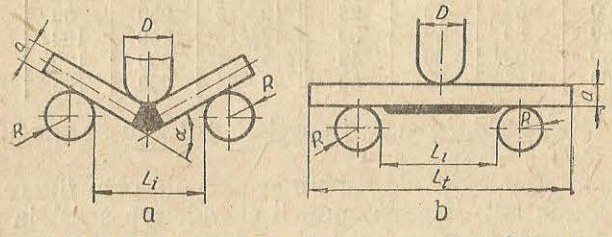


Fig. 47. Epruvetă pentru încercarea de îndoire:
a — epruvetă cu sudură dispusă transversal; *b* — epruvetă cu sudura dispusă longitudinal.

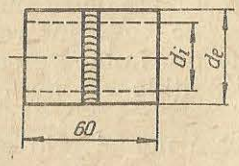


Fig. 48. Epruvetă pentru încercarea de turtire la țevi sudate.

Tabela 12

Epruvete de tracțiune. Dimensiuni

d sau a mm	Pentru oțel rotund (fig. 42)		Plată (fig. 43, *a*)				Redusă (fig. 43, *b*)			
	L_t mm	L_c mm	L_t mm	L_c mm	b mm	B mm	L_t mm	b mm	B mm	R mm
pînă la 20	250	b_s+50	250	b_s+15	25	35	250	25	35	35
21—35	300	b_s+50	300	b_s+15	20	30	300	20	30	35
peste 35	350	b_s+50	300	b_s+15	20	30	350	20	30	35

Tabela 13

Dimensiunile epruvetelor de îndoire

$\sigma_r \leqslant 42$ kgf/mm²					$\sigma_r > 42$ kgf/mm²				
a mm	L_t mm	L_l mm	R mm	D mm	a mm	L_t mm	L_l mm	R mm	D mm
5—7	200	35	25	15	5—7	200	40	25	20
8—10	200	50	25	20	8—11	200	60	25	30
11—13	200	60	50	25	12—15	250	80	50	40
14—17	250	80	50	30	16—18	250	100	50	50
18—22	250	100	50	40	19—21	300	120	50	60
23—25	300	125	50	50	22—25	300	145	50	70

paralel, cu fața piesei, în cazuri speciale putîndu-se executa și transversal.

Încercarea tehnologică de rupere se execută prin fixarea epruvetei într-o menghină, la marginea sudurii și îndoirea acesteia pînă la rupere (proba nu se ia în considerare dacă ruperea nu s-a produs în cusătură) ; diametrul găurilor epruvetei (fig. 49) trebuie să fie de 10 mm la piese cu grosimea de maximum 10 mm și egal cu grosimea piesei în cazul cînd aceasta este mai mare de 10 mm.

b. **Încercarea sudurilor de colț.** Încercările sudurilor de colț se execută pe epruvete tăiate din îmbinare sau din plăcile de control, forma dimensiunile și condițiile de încercare fiind stabilite prin STAS 5976-58.

Epruvetele se prelucrează numai prin așchiere, evitîndu-se orice acțiune care ar putea provoca o modificare structurală a materialului.

Îndreptarea epruvetelor nu este admisă, permițîndu-se însă o îndoire de maximum 2 mm (fig. 50).

Încercările care se pot executa asupra sudurilor de colț sînt :

— încercarea la tracțiune, pe epruvete plate cu eclise și suduri frontale (fig. 51) sau pe epruvete în cruce (fig. 52), pe cel puțin trei epruvete ;

— încercarea la forfecare, pe epruvete plate cu eclise și suduri laterale (fig. 53) sau pe epruvete în cruce (fig. 54), pe cel puțin trei epruvete ;

— încercarea durității (fig. 55) ;

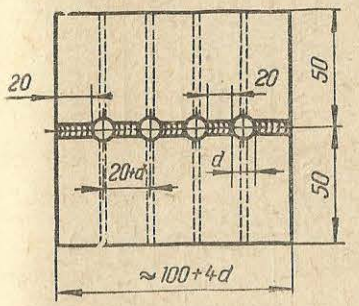


Fig. 49. Epruvetă pentru încercarea tehnologică de rupere.

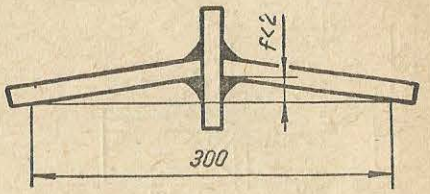


Fig. 50. Îndoirea admisă la epruvete pentru încercarea îmbinărilor sudate în colț.

— încercarea tehnologică de rupere, pentru controlul orientativ al execuției cusăturii, în condiții de atelier sau șantier, pe epruvete cu eclisă (fig. 56, *a*) sau pe epruvete în colțar (fig. 56, *b*).

Pentru evidențierea cusăturii în cazul oțelurilor, se atacă suprafața probei, care în prealabil a fost prelucrată, cu o soluție de 5% acid azotic și 95% alcool etilic.

4. Controlul roentgenografic

Controlul roentgenografic se bazează pe proprietatea razelor X de a străbate metalul și de a impresiona un film radiografic plasat pe partea opusă a materialului controlat. Datorită faptului că în materialul respectiv (în sudură) pot fi defecte, razele X străbat grosimi diferite de metal și vor impresiona în mod diferit filmul ; astfel în locurile cu defecte grosimea de metal este mai mică decît acolo unde nu există defecte și în aceste regiuni pe film vor apare pete de culoare mai închisă (fig. 57).

Prin analiza roentgenografică se pot controla defectele interne existente într-o îmbinare sudată și care, pentru îmbinări cap la cap, pot fi grupate conform celor arătate în tabela 14.

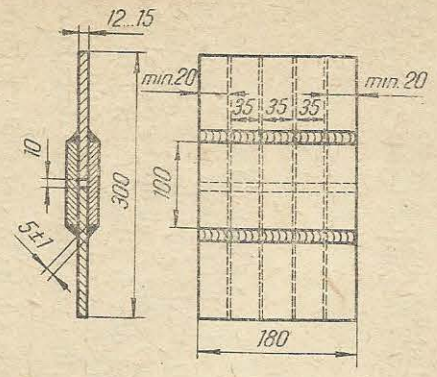


Fig. 51. Epruvetă plată cu eclise și suduri frontale pentru încercarea rezistenței la tracțiune a sudurilor în colț.

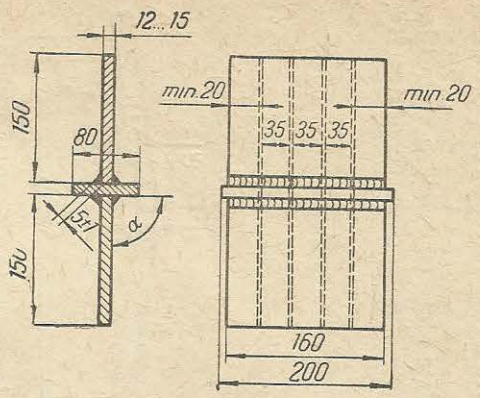


Fig. 52. Epruvetă în cruce pentru încercarea rezistenței la tracțiune a sudurilor în colț.

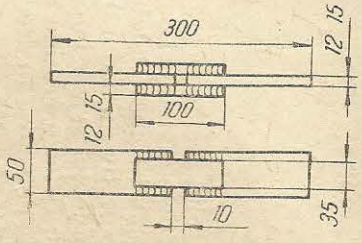


Fig. 53. Epruvetă plată cu eclise și suduri laterale pentru încercarea rezistenței la forfecare a sudurilor în colț.

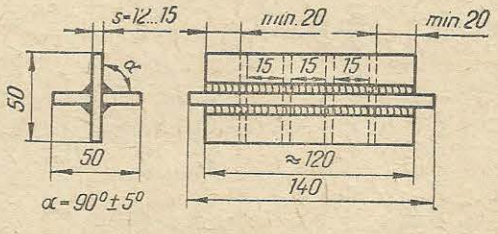


Fig. 54. Epruvetă în cruce pentru încercarea rezistenței la forfecare a sudurilor în colț.

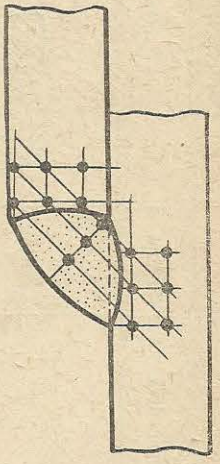


Fig. 55. Epruvetă pentru încercarea durității la sudura în colț.

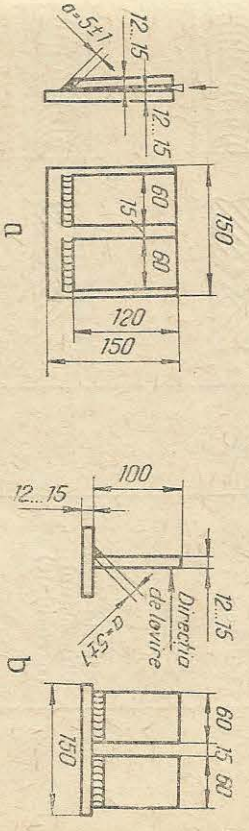


Fig. 56. Epruvetă pentru încercarea tehnologică la sudura în colț: *a* — epruvetă cu eclisă; *b* — epruvetă în colțar.

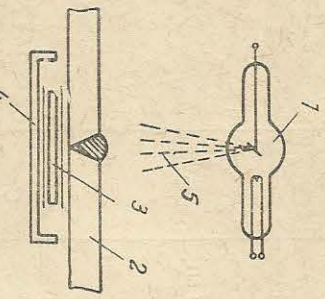
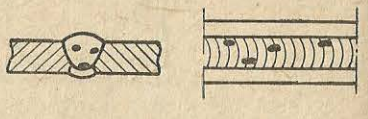
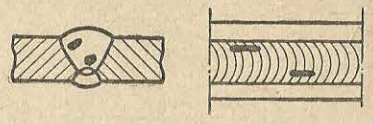
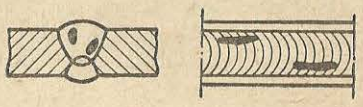
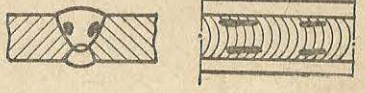
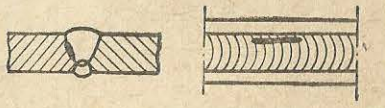


Fig. 57. Principiul controlului roentgenografic: *1* — tubul cu raze Röentgen; *2* — îmbinarea sudată; *3* — film; *4* — placă de plumb; *5* — fluxul de raze Röentgen.

Defecte interne caracteristice

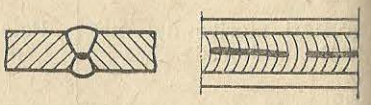
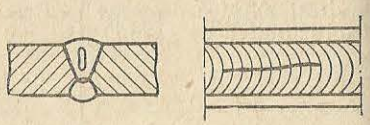
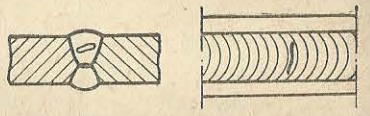
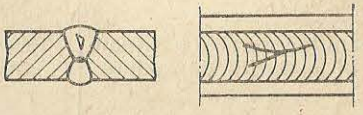
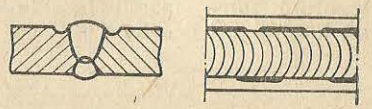
Grupa	Denumirea	Simbol	Reprezentare
Incluziuni de gaze	Pori	*Aa*	
	Alungite sau tubulare	*Ab*	
Incluziuni de zgură	Diferite forme şi dimensiuni (neregulate)	*Ba*	
	Liniare	*Bb*	
	La noduri de sudură	*Bc*	
Lipsă de topire	—	*C*	

[1]) Conform „Instrucţiunilor pentru stabilirea calităţii grafic cu raze X la instalaţiile mecanice sub presiune

la îmbinări sudate cap la cap [1] *Tabela 14*

Descriere	Aspectul roentgenografic
Cavităţi sferice datorate incluziunilor de gaze	Pete de umbră de culoare închisă, bine conturate, de formă rotundă
Cavităţi eliptice datorate incluziunilor de gaze	Pete de umbră de culoare închisă, bine conturate, cu conturul rotunjit
Cavităţi conţinînd zgură inclusă în metalul topit în timpul sudării din diferite cauze	Pete de umbră de culoare închisă, cu contur neregulat, situate după cauza care a determinat apariţia lor, în poziţii oarecari, alternat pe ambele margini ale cusăturii sau la locul de schimbare a electrodului
Cavităţi conţinînd zgură, de formă alungită	Linii de umbră de culoare închisă, mai mult sau mai puţin întrerupte, paralele cu marginile cusăturii ; cele datorate dăltuirii defectuoase apar obişnuit ca două linii de umbră, paralele, cu contur net pe partea exterioară şi neregulat pe partea interioară a cusăturii
Similar cu *B b* situate în nodurile de sudură	Pete de umbră, de culoare închisă, cu contur neregulat, situate în nodurile de sudură
Defect datorat lipsei de legătură între metalul de bază şi cel de adaos	Linie subţire de umbră cu margini bine conturate, linia poate fi ondulată şi difuză, după orientarea defectului în raport cu fasciculul de raze

îmbinărilor sudate cap la cap controlate roentgenoşi de ridicat“ (C 20—65, ale DGMSI-ISCIR).

Grupa	Denumirea	Simbol	Reprezentare
Lipsă de pătrundere	—	*D*	
Fisuri	Longitudinale	*Ea*	
	Transversale	*Eb*	
	Radiale	*Ec*	
Șanțuri la marginea cusăturii	—	*F*	

Descriere	Aspectul roentgenografic
Lipsă de topire la rădăcina sudurii	Linie de umbră, continuă sau întreruptă, la mijlocul cusăturii
Discontinuitate produsă prin crăparea sudurii	Linie de umbră de culoare închisă, fină, dreaptă sau frîntă, în lungul, transversal sau radial pe cusătură
Adîncitură la suprafața metalului de bază ; în lungul marginilor cusăturii	Linie de umbră, de culoare închisă, continuă sau întreruptă, ondulată, plasată de-a lungul marginilor cusăturii

Prin această metodă, cu aparatura curent utilizată în momentul de față, se pot controla suduri cu grosimi pînă la 90 mm, putîndu-se detecta defecte cu dimensiuni, care, funcție de grosimea controlată, reprezintă 1,5—2,5% din aceasta.

Avantajele controlului roentgenografic al sudurilor, constă în principal că, în limitele sensibilităților de detectare arătate mai sus, se pot stabili suficient de exact felul, poziția în îmbinare și mărimea defectelor.

Metoda de control prezintă și dezavantaje, îndeosebi costul ridicat și nocivitatea razelor X care impune măsuri speciale de tehnica securității muncii.

Controlul cu raze X începe cu plasarea filmului pe îmbinare și a indicatorului de calitatea imaginii pe îmbinare.

În continuare, se fixează tubul emițător de raze în dreptul îmbinării, care se controlează, se iradiază cusătura și se prelucrează filmele.

Pentru obținerea unor radiografii interpretabile este absolut necesar ca pe fiecare radiografie să apară indicatorul de calitate.

În mod curent, în țara noastră, se utilizează indicatorul cu șanțuri (fig. 58), care au anumite adîncimi, cu ajutorul cărora se calculează sensibilitatea (capacitatea de detectare a defectelor) radiografiei, precum și unele date privind mărimea defectelor.

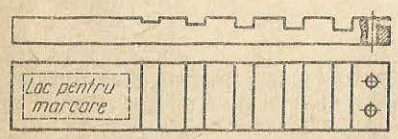


Fig. 58. Indicator de calitate cu șanțuri

Stabilirea calității unei îmbinări sudate se face pe baza criteriilor reglementate de diverse normative oficiale, funcție de natura construcției respective. Din acest punct de vedere, în țara noastră, pentru sudurile cap la cap executate prin topire la oțeluri, folosite la instalații sub presiune și de ridicat, există instrucțiuni ale Inspectoratului de stat pentru cazane și instalații de ridicat care reglementează mărimea defectelor admise în îmbinările sudate.

Indiferent de criteriile adoptate pentru stabilirea calității, în îmbinări nu se admit niciodată fisuri sau șanțuri la marginea cusăturii, celelalte defecte fiind admise în anumite limite.

5. Controlul cu raze γ

Controlul cu raze γ se bazează pe aceleași principii ca și controlul roentgenografic, adică pe proprietatea acestor raze de a străbate materia și de a impresiona filmul radiografic.

Schema de control a unei îmbinări sudate este aceeași ca și în cazul controlului roentgenografic, sirgura deosebire fiind aceea că în locul tubului emițător de raze X, se utilizează un cap special de iradiere în care se află un izotop radioactiv folosit ca sursă de raze γ.

Principalii izotopi radioactivi, folosiți curent ca surse de raze γ, sînt arătați în tabela 15, din care se vede că grosimile care pot fi controlate cu raze γ depășesc pe cele controlate roentgenografic.

Tabela 15

Izotopi radioactivi pentru controlul cu raze γ

Denumirea izotopului	Simbolul izotopului	Grosimi uzuale de control la oțel, mm	Timpul de înjumătățire
192 iridium	192 Ir	10—60	74 zile
137 cesium	137 Cs	15—75	37 ani
60 cobalt	60 Co	50—150	5,3 ani

Avantajele controlului cu raze γ constă în faptul că pot fi controlate elemente cu grosimi mai mari, uneori în locuri inaccesibile aparaturii emițătoare de raze X, permițînd, ca și la controlul cu raze X, stabilirea suficient de exactă a felului, poziției și mărimii defectelor din îmbinările sudate.

Dezavantajele acestei metode constau în principal în faptul că are o sensibilitate mai scăzută (deci pentru o aceeași grosime de metal se depistează defecte mai mari decît prin raze X), necesită un timp de iradiere mai mare decît razele X și necesită măsuri de protecția muncii mai severe, atît în timpul lucrului, cît și pe timpul depozitării sau transportului. Tot ca un dezavantaj, compensat și de unele avantaje, trebuie menționat faptul că după o anumită perioadă de timp, izotopii nu mai pot fi utilizați, chiar dacă în perioada respectivă nu au fost folosiți pentru control.

În ce privește tehnica controlului cu raze gamma, cît și stabilirea calității îmbinărilor sudate controlate, acestea sînt similare controlului roentgenografic.

6. Controlul cu ultrasunete

Una dintre cele mai moderne metode de control nedistructiv a îmbinărilor sudate o constituie controlul cu ultrasunete.

Pentru controlul sudurilor se folosesc aparate prevăzute cu sonde (fig. 59) care emit impulsuri ultrasonice de durată foarte scurtă care

se introduc în piesa de controlat și după aceea sînt recepționate de aceeași sondă, fenomenul de emisie și recepție avînd loc alternativ.

Principiul de control al unei îmbinări sudate este arătat în fig. 60. Sonda emite impulsuri ultrasonice care intră în material sub un anu-

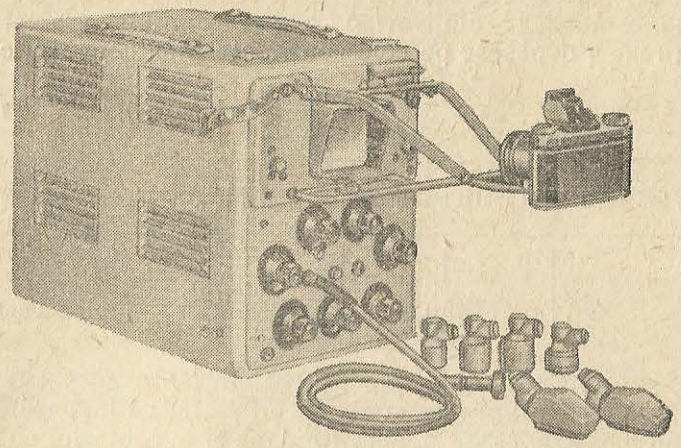


Fig. 59. Defectoscop ultrasonic

mit unghi și parcurge traiectoria *AB*. În punctul *B*, fasciculul se reflectă după același unghi și parcurge traiectoria *BC* și așa mai departe

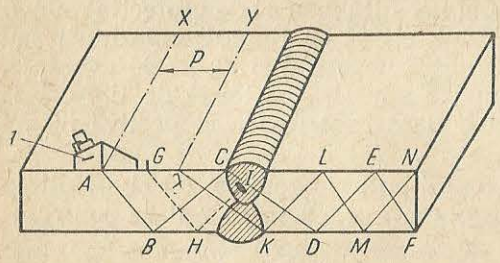


Fig. 60. Principiul de control ultrasonic al unei suduri:
1 — sondă.

pînă la marginea tablei în punctul *F*, după care se întoarce pe același drum, fiind recepționat de sondă. Sonda trebuie deplasată între dreptele *X* și *Y*, astfel încît să fie posibil controlul întregii secțiuni a cusăturii. Dacă în drumul său, fasciculul ultrasonic emis de sondă întîlnește un defect, traiectoria *GHI*, atunci el se reflectă în sens contrar fiind recepționat de sondă.

Toate impulsurile emise și recepționate de sondă sînt amplificate sub forma unor ecouri și transformate în imagini vizibile pe ecranul tubului catodic al aparatului.

Metoda prezintă avantajul că este foarte sensibilă (pune în evidență defecte foarte mici), necesită investiții mai reduse, consum de materiale mai mic decît la controlul roentgenografic sau cu raze γ și nu prezintă pericolul efectelor nocive asupra organismului.

Cu toate aceste avantaje, aplicarea metodei este limitată (se utilizează în special la suduri cap la cap), deoarece poate conduce la interpretări greșite datorate în principal orientării și formei defectelor; în momentul de față, această metodă este folosită în paralel cu analiza roentgenografică sau cu raze γ, cele două metode completîndu-se reciproc.

7. Încercări de presiune

Pentru stabilirea etanșeității și în unele cazuri a rezistenței îmbinărilor sudate, elementele componente ale instalațiilor care lucrează sub presiune (cazane, recipiente) sau sînt folosite pentru diverse gaze sau lichide, se supun unor încercări de presiune. Încercările se execută cu un lichid, la o presiune mai mare decît cea de lucru (încercarea la presiune hidraulică), sau cu gaz, la presiunea de lucru (încercarea de etanșeitate).

a. **Încercarea la presiune hidraulică.** Încercarea se execută de obicei cu apă, a cărei temperatură trebuie să fie de maximum 60 °C, sau cu un alt lichid (petrol lampant etc.) care să nu aibă o acțiune dăunătoare asupra materialului și care să prezinte o penetrabilitate bună prin eventualele defecte din îmbinări.

Menținerea presiunii de încercare (care este obișnuit de 1,1—2,0 ori presiunea nominală) nu trebuie să depășească circa 10 min, după care, dacă examinarea sudurilor nu s-a terminat, se scade presiunea la cea nominală și se continuă controlul. Creșterea și scăderea presiunii trebuie făcută treptat și fără șocuri.

La valoarea presiunii nominale, în timpul creșterii presiunii, porțiunile din imediata vecinătate a cusăturilor sudate se ciocănesc ușor cu un ciocan de 0,5—2,5 kgf.; în cazul metalelor moi (cupru, aluminiu etc.), ciocănirea nu se va face cu ciocane de oțel.

Cusăturile sudate nu trebuie să prezinte în timpul încercării scurgeri, deformații, fisuri, crăpături sau alte defecțiuni.

b. **Încercarea de etanșeitate.** Încercarea se execută cu un gaz neutru, la presiunea nominală, timp de aproximativ 30 min.

Pentru stabilirea neetanşeităţilor se cufundă elementul încercat în apă, se acoperă cusăturile sudate cu soluţie de apă şi săpun sau se folosesc alte metode cum sînt metoda cu amoniac, cu petrol lampant etc.

În urma acestei încercări nu trebuie să se constate în cusături nici un fel de defect.

O atenţie deosebită trebuie acordată, în timpul încercării, măsurilor de protecţia muncii, încercarea executînduse numai în conformitate cu instrucţiunile speciale întocmite în acest scop de către întreprinderea constructoare a piesei supuse încercării.

Capitolul II

SUDAREA MANUALĂ CU ARC ELECTRIC A OŢELURILOR

Dintre procedeele de sudare, sudarea manuală cu arc electric este cea mai utilizată, datorită avantajelor deosebite pe care le prezintă faţă de alte metode de sudare.

A. ARCUL ELECTRIC

Sursa de căldură necesară topirii metalului, în cazul sudării cu arc electric, o constituie descărcarea continuă a curentului electric, între doi sau mai mulţi electrozi, descărcare denumită arc electric (fig. 61).

Această descărcare electrică este însoţită de o degajare puternică de căldură, precum şi de radiaţii luminoase (pe întreaga gamă a spectrului, inclusiv radiaţiile infraroşii şi ultraviolete).

Cantitatea de căldură Q, degajată de arcul electric, poate fi calculată cu relaţia

$$Q = 0{,}24\, I_S U_a t \text{ [cal]},$$

în care

I_S este intensitatea curentului de sudură, în A ;
U_a — tensiunea de descărcare a arcului, în V ;
t — durata descărcării, în s.

Căldura degajată de arcul electric se distribuie între catod şi anod, ridicînd temperatura spaţiului dintre electrozi la valorile indicate tot în fig. 61. Partea cea mai fierbinte a arcului se găseşte în centrul coloanei, atingînd 6 000 °C, mult superioară temperaturii de topire a metalelor supuse în mod obişnuit sudării.

Pentru amorsarea arcului electric, spațiul dintre electrozi (respectiv dintre electrod și piesă), trebuie să fie ionizat, adică să conțină particule gazoase încărcate cu sarcini electrice, care să permită trecerea curentului electric prin acest spațiu. Procesul ionizării începe prin atingerea electrodului de piesă, adică prin închiderea circuitului electric. În momentul atingerii electrodului de piesă, datorită încălzirii care se produce la acest scurt contact, catodul (polul —) emite electroni, care, avînd sarcină negativă, sînt atrași de anod (polul +).

O dată cu ridicarea electrodului de pe piesă, datorită diferenței de potențial dintre cei doi poli, electronii sînt siliți să străbată spațiul format, în drumul lor lovind particulele de gaz din atmosferă.

Astfel, prin ionizare aceste particule, primesc sarcini electrice, căpătînd denumirea de ioni.

Practic, acest proces de ionizare se petrece cu mare viteză, astfel că, după atingerea electrodului de piesă, la ridicarea acestuia la o distanță de 2—3 mm, se formează instantaneu arcul electric.

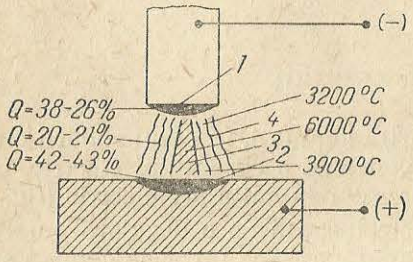


Fig. 61. Părțile componente ale arcului electric, repartiția temperaturilor și distribuția căldurii:

1 — pata catodică; *2* — pata anodică; *3* — coloana arcului; *4* — aureola arcului.

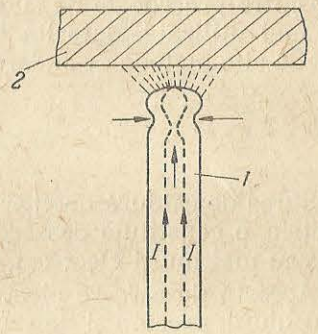


Fig. 62. Transportul de metal la sudările de poziție, datorită efectului liniilor de forță magnetică:

1 — electrod; *2* — piesă; *I* — curent.

În timpul sudării, menținerea ionizării este favorizată de temperatura înaltă, precum și de apariția vaporilor metalului de bază și a anumitor elemente conținute în învelișul electrozilor.

Independent de sensul mișcării ionilor și electronilor, trecerea metalului se face de la electrod la piesă, în picături de diferite mărimi.

Trecerea picăturilor de la electrod la piesă, indiferent de polaritate, se poate explica prin efectul de strangulare pe care îl au liniile de forță magnetică din arc (fig. 62).

Tensiunea arcului este căderea de tensiune care se produce în arcul electric, adică diferența de potențial între cei doi poli ai arcului.

Tensiunea și lungimea arcului sînt direct proporționale, adică la creșterea lungimii arcului crește tensiunea și invers.

Calitatea sudurii este mult influențată de funcționarea liniștită a arcului electric.

Arderea liniștită a arcului depinde de: tensiunea de mers în gol a sursei de curent, felul și valoarea curentului, frecvența curentului alternativ, compoziția chimică a pastei de pe electrod etc.

În curent continuu, arcul electric este deosebit de liniștit. Sudarea se poate executa cu polaritate directă (minus la electrod, plus la piesă) sau indirectă (plus la electrod, minus la piesă).

Polaritatea inversă se folosește la sudarea oțelurilor înalt aliate și a pieselor subțiri, pentru evitarea supraîncălzirilor.

La sudarea în curent alternativ, datorită stingerii repetate a arcului, în emisia de electroni se produc perturbări, care influențează în rău stabilitatea arcului.

Din acest motiv, la sudarea în curent alternativ, pentru îmbunătățirea stabilității arcului, se iau măsuri speciale, referitoare la creșterea tensiunii de mers în gol a sursei, creșterea frecvenței curentului de sudură, introducerea unor elemente speciale în învelișul electrozilor etc.

Asupra stabilității arcului, o influență deosebită o are menținerea unei coaxialități cît mai perfecte între axa învelișului și axa electrodului.

Devierea arcului din axa electrodului, care se produce în special în cazul sudării în curent continuu de intensitate mare (300—400 A), se numește suflul arcului.

Apariția suflului arcului este determinată de curentul de sudare, acțiunea cîmpurilor magnetice din jurul piesei și electrodului, dispunerea neuniformă a maselor feromagnetice, așezarea contactului pe piesă, rostul dintre piesele care se sudează unghiul de înclinare a electrodului pe piesă etc.

Datorită faptului că la trecerea curentului electric printr-un conductor în jurul acestuia se formează un cîmp magnetic, în cazul sudării, în jurul cablurilor de curent, electrodului, arcului și piesei care se sudează, se formează cîmpuri magnetice.

Dacă în jurul arcului se formează cîmpuri magnetice simetrice, arcul funcționează liniștit, fără deviere (fig. 63, *a*). În cazul formării cîmpurilor magnetice nesimetrice (fig. 63, *b*, *c* și *d*) se produce devierea arcului, apărînd fenomenul de suflu.

Masele feromagnetice mari, avînd o densitate a liniilor de forță, mai mare decît arcul, deviază liniile de forță, iar ca urmare, arcul electric se deplasează spre ele (fig. 64).

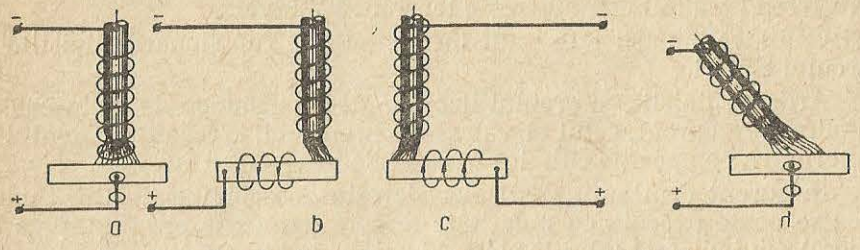


Fig. 63. Influența cîmpurilor magnetice asupra arcului electric :
a — cîmpurile magnetice simetrice; *b* și *c* — devierea arcului datorită cîmpului; *d* — devierea arcului datorită înclinării exagerate a electrodului.

Pentru combaterea fenomenului de suflu al arcului se folosesc diferite metode ca : înclinarea electrodului spre partea în care suflă arcul ; fixarea clemei de curent pe piesă, într-un loc care să scurteze cît mai mult drumul curentului ; egalizarea maselor feromagnetice și folosirea curentului alternativ în locul celui continuu.

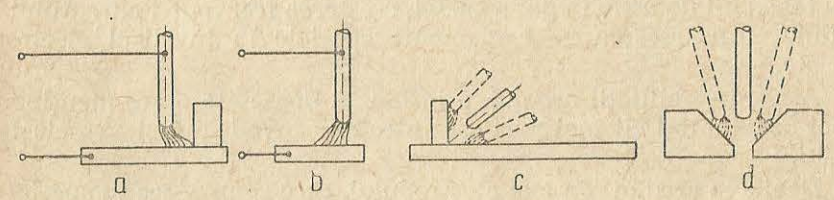


Fig. 64. Influența maselor feromagnetice asupra fenomenului de înclinare a arcului :
a — înclinarea arcului către masa mai mare; *b* — înclinarea arcului către conturul piesei; *c* — înclinarea arcului în cazul sudării în colț; *d* — înclinarea arcului la sudarea cap la cap.

B. SURSE DE CURENT PENTRU SUDAREA ELECTRICĂ MANUALĂ

1. Caracteristici generale

Sursele de curent pentru sudarea manuală cu arc trebuie să îndeplinească anumite condiții :

— tensiunea de mers în gol trebuie să fie suficient de mare pentru a permite amorsarea arcului electric și pentru asigurarea stabilității, fără a depăși valorile admise de tehnica securității muncii.

— caracteristica externă a sursei trebuie să fie cît mai coborîtoare pentru asigurarea topirii uniforme a electrodului ;

— curentul de scurtcircuit nu trebuie să depășească cu mai mult de 40—50% curentul de sudură ;

— trebuie să permită scurtcircuitarea de lungă durată a cablurilor de sudure ;

— să fie dotat cu dispozitive de reglare a intensității curentului în limite cît mai largi ;

— să aibă o construcție robustă și ușor de întreținut.

După felul curentului, sursele pot fi de curent continuu sau de curent alternativ.

În funcție de numărul de posturi de sudare alimentate simultan, sursele pot fi surse pentru un singur post și surse pentru mai multe posturi.

Curentul alternativ se obține în principal de la transformatoarele pentru sudare. Sursele de curent continuu sînt rotative (grupuri convertizoare, agregate de sudură) sau statice (redresoare de sudură).

Sursele rotative sînt constituite dintr-un generator de curent antrenate de un motor.

În cazul antrenării generatorului de un motor electric, sursa se numește convertizor de sudură, iar în cazul antrenării de către un motor cu explozie, sursa se numește grup electrogen.

2. Transformatoarele de sudură

Transformatoarele de sudură sînt sursele cu construcția cea mai simplă. Ele folosesc la transformarea curentului alternativ cu tensiune ridicată (500—380 V) și intensitate redusă, de la rețeaua de alimentare, în curent alternativ cu tensiune scăzută (70—90 V) și intensitate ridicată, necesară arcului electric de sudare.

Un transformator de sudură se compune în pricipal dintr-un miez din tole moi de fier pe care se găsesc două înfășurări : bobinajul primar (din sîrmă subțire, cu spire multe) și bobinajul secundar (din sîrmă groasă și spire puține), precum și din sistemul de reglare a intensității curentului de sudură.

În principiu, funcționarea transformatoarelor pentru sudură constă în crearea în înfășurarea primară (alimentată de la rețea cu curent de tensiune ridicată) a unui flux magnetic, care ajunge prin miezul de fier în înfășurarea secundară, unde dă naștere curentului de sudare (cu tensiune scăzută și intensitate mare).

Reglarea intensității curentului de sudare se realizează prin diverse sisteme constructive, care au dus la crearea diverselor tipuri de transformatoare, dintre care mai importante sînt :

— transformator cu bobină de reactanță separată (fig. 65) ;

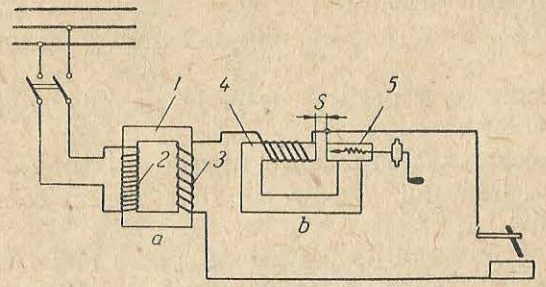


Fig. 65. Schema transformatorului cu bobina de reactanță separată :

a — transformator; *b* — bobina de reactanță; *1* — miezul transformatorului; *2* — înfășurarea primară; *3* — înfășurarea secundară; *4* — miezul bobinei de reactanță; *5* — partea mobilă a miezului.

— transformator cu bobină de reactanță pe miez comun (fig. 66) ;
— transformator cu șunt magnetic (fig. 67) ;
— transformator cu bobine mobile (fig. 68).

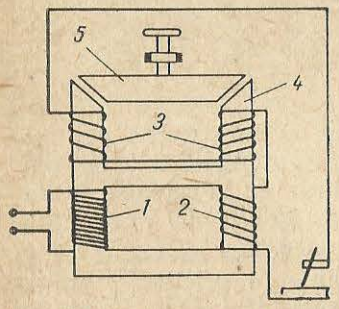


Fig. 66. Schema transformatorului de sudură cu bobină de reactanță pe miez comun :

1 — înfășurarea primară; *2* — înfășurarea secundară; *3* — înfășurarea de reactanță; *4* — miez de fier; *5* — miez mobil.

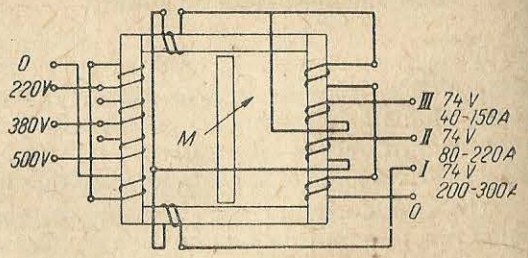


Fig. 67. Schema electrică a transformatorului de sudură Sm S 10,3 :

M — șuntul.

În practica curentă, sînt folosite și transformatoare care alimentează mai multe posturi de sudură.

În fig. 69 este reprezentată schema electrică de funcționare a unui transformator de sudură cu trei posturi.

În România s-au fabricat transformatoare de sudură tip S 16, pentru 9 posturi, cu o putere totală de 200 kVA.

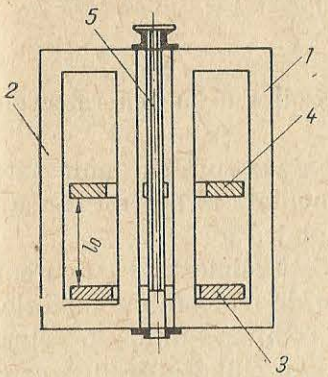


Fig. 68. Transformatorul cu bobine mobile :

1 și *2* — miezul de fier; *3* — bobina secundară; *4* — bobina primară; *5* — mecanismul de deplasare.

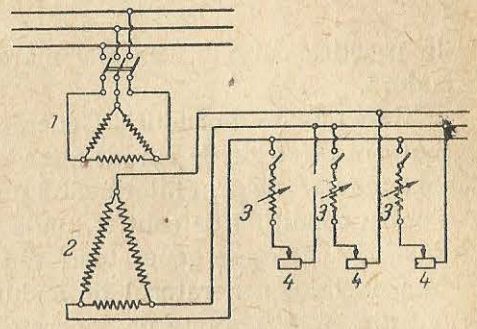


Fig. 69. Schema electrică a unui transformator de sudură pentru mai multe posturi :

1 — înfășurarea primară; *2* — înfășurarea secundară; *3* — bobina pentru reglarea curentului; *4* — post de sudare.

În tabela 16, sînt indicate caracteristicile importante ale cîtorva transformatoare pentru sudare, folosite în țară.

Tabela 16

Caracteristici tehnice ale transformatoarelor pentru sudare

Tipul transformatorului	Tensiunea V		Curent maxim de sudură, A, pentru* D_a %			Domeniul de reglare a curentului	Greutatea kg
	In primar	In secundar la mers în gol	30	65	100		
STE 22	127,200,380	50	—	220	180	30—350	180
STE 32	220,380	65	670	450	360	100—700	215
STN 350	220,380	70	450	350	200	80—450	260
STN 500	220,380	60	400	500	700	150—700	270
TSD 1000-3	220,380	80	1200	1 000	750	400—1200	540
TASM-150	220.380,500	72	200	150	—	45—375	175
TASM-300	220,380,500	72	300	—	—	60—300	310
TASM-500	220,380,500	67	650	450	320	80—760	495
SMS-10.3	220,380,500	75	400	300	220	40—400	230
S 16	380	75	500	350	—	100—500	2 000

* D_a — durata activă de funcționare.

Transformatoarele de sudură, prin construcţia lor simplă şi funcţionarea economică, au căpătat o largă utilizare fiind folosite atît în condiţii de atelier cît şi în condiţii de şantier.

3. Surse de curent continuu

În practica curentă, cea mai mare răspîndire o au generatoarele de sudură.

a. **Generatoare de sudură.** Generatoarele de sudură sînt antrenate de motoare electrice de curent alternativ, montate în aceeaşi carcasă sau legate între ele prin intermediul unor cuplaje.

Pentru condiţiile de şantier, unde nu există alimentare cu curent alternativ, se folosesc generatoare antrenate de motoare cu explozie.

În principiu, generatorul de sudură se compune dintr-un rotor, format din spire montate pe generatoarea unui cilindru de fier, care se roteşte între polii unui electromagnet, denumit stator. Spirele rotorului au capetele legate pe nişte plăcuţe din cupru, formînd un cilindru numit colector. Pe colector se reazemă nişte perii din cărbune special, perii care colectează curentul format în rotor, transmiţîndu-l apoi la postul de sudură. Curentul care alimentează electromagneţii statorului poartă numele de curent de excitaţie.

Pentru obţinerea unei caracteristici coborîtoare, necesară funcţionării liniştite a arcului, marea majoritate a generatoarelor de sudură sînt astfel construite, încît o dată cu creşterea curentului de sudare se reduce valoarea fluxului magnetic în care se roteşte rotorul generatorului.

Există foarte multe tipuri constructive de generatoare de sudură, tipuri care pot fi clasificate după diferite criterii.

După modul de obţinere a caracteristicii externe coborîtoare, tipurile cele mai folosite de generatoare de sudură sînt :

— generatoare cu excitaţie separată şi serie antagonistă (fig. 70) ;

— generatoare cu excitaţie în derivaţie şi serie antagonistă (fig. 71) ;

— generatoare cu poli divizaţi (fig. 72) ;

— generatoare cu cîmp transversal (fig. 73) ;

— generatoare pentru alimentarea mai multor posturi (fig. 74).

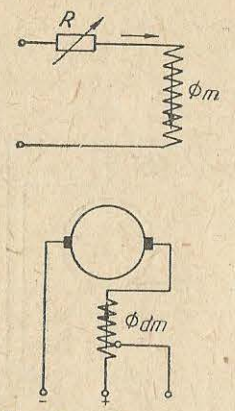


Fig. 70. Schema electrică a generatorului de sudură cu excitaţie separată şi serie antagonistă :
R — reostatul.

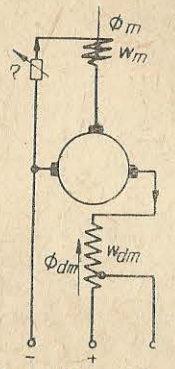


Fig. 71. Schema electrică a generatorului cu excitaţie în derivaţie şi serie antagonistă :
W_m — bobinajul de magnetizare; W_{dm} — bobinajul de demagnetizare; *R* — reostat.

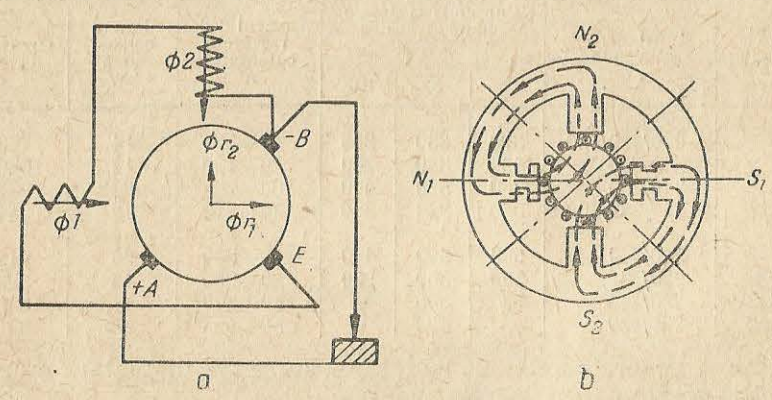


Fig. 72. Generator cu poli divizaţi :
a — schema electrică; *b* — schema electromagnetică; N_1—N_2, S_1 şi S_2 — poli; *A* şi *B* — perii active; *E* — perie auxiliară.

În practica uzinelor și șantierelor noastre se folosesc numeroase tipuri de generatoare de sudură construite după diferite principii și cu diferite caracteristici.

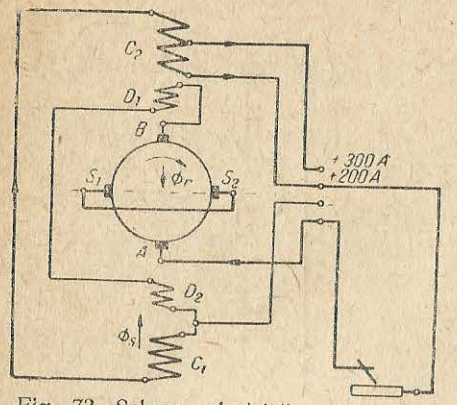


Fig. 73. Schema electrică a generatorului cu cîmp transversal :
A și *B* — perii active; S_1 și S_2 — perii auxiliare; C_1 și C_2, D_1 și D_2 — înfășurări.

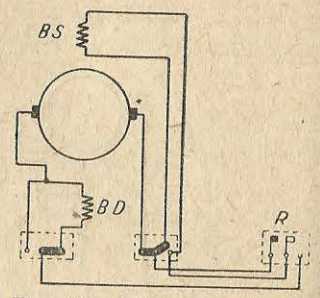


Fig. 74. Schema electrică a unui generator de curent pentru mai multe posturi :
B, S — bobinaj serie; *B, D* — bobinaj derivație; *R* — rezistența de balast.

În tabela 17 sînt redate caracteristicile principale a cîtorva tipuri de generatoare folosite în țara noastră.

Caracteristicile generatoarelor de sudură *Tabela 17*

Tipul generatorului	Tensiunea de alimentare V	Curentul maxim de sudură A pentru D_a %			Domeniul de reglare a curentului A	Putere consumată kW	Greutate kg
		35	55	100			
GS-350	220/380/500	370	330	215	50—370	14	420
CS-350	220/380	430	350	280	80—430	14	620
CS-500	220/380	700	500	400	100—700	28	950
Triodin R-350	220/380/500	350	320	220	30—320	14	380
PS-500	220/380	600	500	400	120—600	28	940
PS-300 M	220/380	500	360	260	80—380	14	590
C.P.V.-443	220/380	—	300	—	50—300	11,8	650
P.S.G.-500	220/380	—	500	—	50—500	28	500

Folosirea generatoarelor de sudură ca surse de alimentare a arcului electric prezintă următoarele avantaje :
— sudarea în curent continuu asigură posibilitatea sudării cu unele tipuri de electrozi, care necesită curent continuu (electrozii bazici) ;
— generatoarele asigură o ardere liniștită a arcului ;

— prezintă siguranță din punctul de vedere al tehnicii securității ;
— permit încărcarea simetrică a rețelei electrice de alimentare.
Totodată, generatoarele prezintă și unele dezavantaje :
— au piese în rotație, prezentînd uzuri rapide ;
— consum mare de cupru ;
— randament scăzut ;
— greutate mare și cost ridicat.

b. **Redresoare de sudură.** Redresoarele de sudură reprezintă soluția cea mai modernă pentru alimentarea cu curent a arcului electric de sudură. Ele se bazează pe proprietățile semiconductoarelor (seleniu, siliciu, germaniu etc.) de a permite trecerea curentului electric numai într-un anumit sens.

Redresoarele de sudură sînt formate în principal dintr-un transformator de sudură care are secundarul legat la un redresor, care transformă curentul alternativ, obținîndu-se curent continuu.

Din motive de ordin economic, transformatoarele au construcție trifazată, redresîndu-se toate trei fazele.

Avantajele față de generatoare sînt : lipsa părților în mișcare, randament ridicat, funcționare sigură, consum mic de metal pe unitate de putere.

În țara noastră, redresoarele de sudură sînt foarte puțin răspîndite. Experimental, un asemenea redresor a fost executat la I.C.E.T., funcționînd cu redresorul de siliciu, pentru curenți pînă la 360 A.

În tabela 18 sînt indicate caracteristicile cîtorva redresoare de sudură mai răspîndite.

Tabela 18

Caracteristicile redresoarelor de sudură

Tipul redresorului	Tensiunea V		Intensitatea curentului de sudare maximum A	Limite de reglare a curentului	Randament %	Greutatea kg
	de alimentare	de mers în gol U_o				
I.C.E.T.-1	220/380	70	330	50—360	68	300
V.S.S. 120-3	220/380	60	120	15—120	58	140
V.S.S. 300-2	220/380	60	300	40—300	68	240

C. ACCESORIILE ȘI SCULELE SUDORULUI

Cablurile de sudură folosesc la stabilirea legăturii între sursa de curent și electrod, respectiv și piesă.

Pentru sudare se folosesc cabluri flexibile din cupru, cu izolație de cauciuc. Cablurile folosite la sudură trebuie să nu se încălzească la o diferență de temperatură mai mare de 40 °C față de mediu încon-

jurător să fie flexibile, iar izolația să împiedice scurgerile de curent și să asigure condițiile de tehnica securității.

O atenție deosebită trebuie acordată legăturilor cablurilor la borne și între bucăți de cabluri, în ceea ce privește calitatea contactului electric și izolației, acestea fiind sursele cele mai frecvente de accidente.

Construcția și caracteristicile cablurilor de sudură sînt fixate de STAS 1020-61.

Secțiunea cablului de sudură (tabela 19) se alege în funcție de intensitatea curentului de sudură și distanța între sursă și postul de sudare, astfel încît diferența de temperatură să nu depășească 40 °C, iar căderea de tensiune pe cabluri să nu depășească 5 V, pentru o

Tabela 19

Caracteristicile cablurilor de sudură

Secțiunea mm²	Numărul de fire	Diametrul unui fir mm	Diametrul miezului metalic mm	Greutatea kg/m
35	1114	0,20	9,20	0,50
50	1592	0,20	11,20	0,72
70	1425	0,25	12,50	0,99
95	1937	0,25	15	1,25
120	170	0,30	17,5	1,55

distanță de 50 m. Nu se recomandă transportul curentului de sudură la distanțe mai mari. În tabela 20, sînt indicate secțiunile cablurilor pentru sudare, pentru diferite intensități de curent și distanțe de transport.

Tabela 20

Alegerea secțiunii cablurilor de sudură

Curentul de sudură A	De la sursă la locul de sudare	
	distanța m	secțiunea cablurilor mm²
Pînă la 200	Pînă la 25	25—35
	25—50	35
200—300	Pînă la 25	35—50
200—300	25—50	50
300—400	Pînă la 25	50—70
	24—50	70
500—600	Pînă la 25	95—120

Pentru asigurarea calității sudurii și a tehnicii securității muncii, este necesar ca și legarea piesei la sursă să se realizeze tot cu ajutorul

cablurilor izolate ; practica folosirii în acest scop a diverselor conductoare neizolate este total neindicată.

O atenție deosebită trebuie acordată, în special în cazul lucrărilor de șantier, cablurilor de alimentare cu curent a surselor de sudură.

Aceste cabluri trebuie să fie izolate, cu izolație rezistentă, fiind ferite în mod deosebit de șocurile mecanice.

Secțiunea acestor cabluri se alege în funcție de puterea sursei alimentate, lungimea cablului și tensiunea curentului.

Portelectrodul trebuie să aibă greutate cît mai redusă (maximum 500 g), izolație electrică sigură, pentru înlăturarea pericolului de electrocutare, suprafața de contact cu electrodul suficient de mare, pentru evitarea încălzirii la o diferență de temperatură de maximum 40 °C și posibilitate de prindere rapidă și sigură a electrodului și eliminarea rapidă a capătului electrodului consumat.

Portelectrozii se execută în diferite variante constructive, pentru diferite intensități de curent ; în țară, portelectrodul este standardizat în STAS 5027-55.

Clema de contact asigură legătura sursei cu piesa de sudat ; această legătură trebuie să fie cît mai bună pentru a împiedica pierderile de energie. Contactele improvizate, pe lîngă funcționarea neliniștită a arcului și înrăutățirea calității sudurii, provoacă după funcționare îndelungată degradarea cablurilor pentru sudare, datorită încălzirii lor, ca urmare a pierderilor de curent.

Masca are rol de protecție a feței și ochilor sudorului împotriva radiațiilor luminoase, emise de arcul de sudură ; pentru a permite urmărirea arcului electric în timpul sudării, măștile de protecție au sticle de culoare închisă, montate în dreptul ochilor.

Îmbrăcămintea de protecție a sudorului electric constă, în general, din mănuși, șorț și călțete, confecționate din piele sau, mai rar, din azbest.

Ciocanul și peria de sîrmă sînt folosite la curățirea marginilor pieselor care urmează a fi supuse sudurii și a zgurei rezultate din topirea electrozilor.

Ciocanul pentru zgură are o formă specială, avînd un capăt ascuțit în formă piramidală alungită, iar celălalt capăt în formă de daltă, și se folosește pentru curățirea zgurei de pe suprafața sudurii.

Peria de sîrmă se folosește după ciocănirea zgurei. Se folosesc perii de sîrmă din oțel, înguste (2 rînduri) și late (5 rînduri), în funcție de lățimea cordonului de sudură.

D. ORGANIZAREA LOCULUI DE MUNCĂ AL SUDORULUI

Locul de muncă al sudorului trebuie eliberat pe cît posibil de piesele inutile, pentru a asigura deplasarea sigură în spațiul respectiv. Locul respectiv va fi înconjurat de paravane speciale pentru protecția celorlalți muncitori împotriva radiațiilor luminoase ale arcului.

De asemenea, este necesară o bună ventilație, pentru fiecare sudor fiind necesari 30 Nm^3 aer/h.

Sursele de curent trebuie așezate în locuri cît mai ferite, pentru a nu fi lovite în timpul producției, și în mod obligatoriu vor fi legate la pămînt.

În cazul execuției produselor de dimensiuni mici, se recomandă folosirea unor cabine speciale pentru sudori, cu suprafața de $2 \times 2{,}5$ m.

Sudorul va fi dotat cu o lădiță în care-și va pune sculele și electrozii necesari în timpul sudării, el stînd pe un scăunel care să-i asigure poziția cît mai comodă (funcție de natura lucrului). În timpul lucrului în interiorul recipienților, sudorul se va așeza pe un covoraș izolator de pîslă și cauciuc, iar în timpul lucrului la înălțimi, va fi prevăzut în mod obligatoriu cu centura de siguranță.

E. ELECTROZI PENTRU SUDAREA OȚELURILOR

La sudarea electrică manuală a oțelurilor, se folosesc, în majoritatea cazurilor, electrozi metalici înveliți.

Electrozii de sudură trebuie să asigure metalului depus proprietăți mecanice cel puțin egale cu ale metalului de bază, să aibă un randament ridicat, caracterizat printr-o cantitate cît mai mare de metal depus în unitatea de timp (coeficient de depunere, g/Ah), să posede proprietăți bune de ordin tehnologic și să asigure un aspect uniform.

Electrozii sînt vergele de sîrmă, de diferite lungimi și diametre, acoperite cu un strat de materii organice sau minerale, denumit înveliș.

Învelișul electrozilor ușurează amorsarea și menținerea stabilă a arcului, topirea continuă și uniformă a electrodului, micșorarea pierderilor de metal prin ardere în arcul electric și stropire, protecția împotriva pătrunderii oxigenului și azotului din aer în baia de sudură. Totodată asigură un metal depus cu proprietăți mecanice corespunzătoare metalului de bază, o bună pătrundere a sudurii, o bună formare a cusăturii de sudură și alierea metalului depus.

Aceste roluri sînt realizate prin compoziția învelișului.

Învelișul electrozilor este constituit dintr-un număr mare de componenți care, măcinați fin și bine amestecați, formează un amestec omogen.

În tabela 21 sînt indicate cele mai folosite materiale și rolul pe care-l au în înveliș.

Tabela 21

Materiale folosite pentru învelișul electrozilor

Funcția materialelor	Denumirea materialelor
Ionizanți	Carbonat de calciu (cretă, marmură, calcită) Bioxid de titan (rutil, ilmenit) Carbonați de potasiu (potasă, cenușă) Oxizi și săruri ale metalelor alcalino-pămîntoase
Zgurifianți	Minereuri de titan, mangan și fier (rutil, ilmenit, rodomit, hematită, magnetită etc.) Silice și silicați naturali (cuarț, feldspat, mică, caolin etc.) Carbonați naturali (calcită, dolomită, magnezită)
Dezoxidanți	Feroaliaje (feromangan, ferosiliciu, ferotitan, ferocrom), aluminiu, grafit
Componenți de aliere	Feroaliaje și oxizi de metale
Fluidifianți	Sărurile și oxizii metalelor alcalino-pămîntoase, bioxid de titan, fluorină etc.
Gazeifianți	Substanțe organice : amidon, dextrină, celuloză, rumeguș etc. Substanțe minerale : carbonați de calciu, magneziu, bariu etc.
Lianți	Silicați lichizi de sodiu și potasiu, dextrină etc.
Plastifianți	Bentonită, dextrină, amidon, ciment etc.
Componenți de adaos	Pulbere de fier, pulbere de nichel etc.

Lungimea electrozilor depinde de diametrul sîrmei și de compoziția ei chimică, fiind limitată pentru evitarea supraîncălzirii electrodului în timpul sudării.

Lungimile și diametrele de fabricație ale electrozilor sînt standardizate sau normalizate de diferite țări și producători.

În tabela 22 sînt indicate lungimile și diametrele electrozilor pentru electrozii uzuali folosiți în țara noastră.

Tabela 22

Lungimile și diametrele electrozilor de sudură

Diametrul electrodului mm		1,6—2; 2,5	3,0; 3,2; 3,25; 3,3	4	5	6
Lungimea electrodului mm	Sîrmă din oțel carbon	200; 250 300; 450	350; 450	450	450	450
	Sîrmă din oțel aliat	200	350	350	450	—

La unul din capete, pe o lungime de 25^{+5}_{-10} mm (sau 30^{+5}_{-10} mm) electrozii sînt neînveliți pentru a asigura contactul electric în portelectrod.

Electrozii cu diametre 1,6—2,5 mm și lungimi de 450 mm au porțiunea neînvelită la mijloc.

Sîrma din care se fabrică electrozii este sîrmă specială de sudură, cu compoziție chimică fixată prin standarde. La noi în țară, sîrma pentru electrozi este standardizată prin STAS 1126-61, iar electrozii prin STAS 1125-64.

Electrozii de sudură pot fi clasificați după diferite criterii.

După modul de fabricare, electrozii pot fi presați sau imersionați. Cei mai utilizați sînt electrozii presați, ei avînd învelișul mai uniform și asigurînd calități superioare cusăturii de sudură.

Funcție de grosimea învelișului, electrozii se clasifică în :

— electrozi cu înveliș subțire, la care învelișul are o grosime de 5—10% din diametrul sîrmei, greutatea atingînd 5—6% din greutatea totală, și care au viteze mari de topire, însă metalul depus are plasticitate redusă ;

— electrozi cu înveliș mijlociu, învelișul avînd 10—25% din diametrul sîrmei, care asigură proprietăți mecanice superioare cusăturii de sudură, fiind foarte utilizați ;

— electrozi cu înveliș gros, la care grosimea învelișului depășește 25—50% din diametrul sîrmei, reprezentînd 30—40% din greutatea electrodului, conducînd la obținerea în cusături a unor calități deosebite, fiind folosiți la execuția sudurilor de mare răspundere.

După compoziția învelișului, electrozii pot fi acizi, rutilici, bazici etc.

Electrozii de tip acid, avînd învelișul compus în principal din bioxid de siliciu și silicați, sînt electrozi cu viteză mare de topire și coeficient de depunere mare.

Acești electrozi sudează bine atît în curent continuu cît și alternativ, avînd o pătrundere mare și asigurînd cusăturii caracteristici mecanice superioare, dar nu pot fi folosiți la suduri de poziție.

Cu acești electrozi se sudează oțeluri de rezistență medie, cu tendință de fisurare redusă.

Electrozii de tip rutilic, sînt electrozi la care învelișul conține foarte mult bioxid de titan. Acești electrozi produc o zgură scurtă (care se solidifică rapid), fiind foarte indicați la execuția sudurilor de poziție, și au o pătrundere redusă.

Electrozii organici și organici-rutilici conțin în înveliș cantități apreciabile de materii organice (celuloză, rumeguș etc.) care ard în timpul sudării, producînd multe gaze și zgură puțină.

Acești electrozi au o pătrundere redusă, fiind foarte indicați la sudură de șantier sau acolo unde condițiile nu permit pregătirea precisă a muchiilor pentru sudat.

Electrozii bazici conțin în înveliș mulți compuși ai calciului (carbonați de calciu și fluorină), care produc zgură multă și scurtă.

Cantitatea mare de zgură, precum și gazele care se degajă în timpul sudării (în special CO), asigură o protecție foarte bună metalului topit, obținîndu-se cusături cu caracteristici mecanice și proprietăți plastice superioare.

De asemenea, datorită protecției bune a metalului topit și a elementelor dezoxidante din înveliș, arderea elementelor de aliere din oțel este foarte redusă, motiv pentru care acești electrozi sînt foarte folosiți pentru sudarea oțelurilor aliate.

Datorită conținutului ridicat de oxid de calciu, acești electrozi au viteze de topire mici, necesitînd o mare cantitate de căldură. De asemenea, compoziția chimică a învelișului face ca amorsarea și funcționarea arcului în curent alternativ să fie dificilă, necesitînd tensiuni de mers în gol ridicate (peste 60 V).

Din acest motiv, electrozii bazici, necesită la sudare curent continuu, electrodul fiind legat la polul + (pentru obținerea căldurii necesare). Acest lucru face ca piesele să rămînă mai reci, producîndu-se deformații mai reduse în comparație cu ceilalți electrozi.

Formînd zgură scurtă, acești electrozi sînt deosebiți de indicați la execuția sudurilor de poziție.

Dezavantajul lor principal constă în aceea că sînt foarte sensibili la umezeală, fiind necesară uscarea lor înainte de sudare.

În țară se folosesc foarte multe sorturi de electrozi, de fabricații diferite. În tabela 23 sînt cuprinse sorturile de electrozi, cele mai folosite în țară, indicîndu-se caracteristicile lor tehnice mai importante, iar în tabela 24 sînt date recomandările de utilizare a acestor electrozi.

Electrozi pentru

Marca electrodului	Fabricație	Marcaj	Tipul electrodului	Compoziția chimică a metalului				
				C	Mn	Si	S	P
EL 38 T	România	Fără	Rutilic	—	—	—	—	—
EL 38 A	România	Fără	Acid	—	—	—	—	—
EL 42 A	România	Fără	Acid	—	—	—	—	—
EL 42 B	România	Fără	Bazic	—	—	—	—	—
EL 44 T	România	Fără	Rutilic	0,12	0,4	0,20	0,014	0,016
EL 48 T	România	Fără	Rutilic	—	—	—	—	—
EL 44 C	România	Fără	Celulozic	0,2	0,4	0,20	0,014	0,016
Fox SPE	Böhler Austria	Galben	Acid	0,11	0 44	0,17	0,14	0,016
E 44,83	R.S.C.	Roşu	Bazic	0,08	0,7	0,4	0,04	0,05
RB-26	Japonia	Alb	Rutilic	0,08	0,56	0,38	0,018	0,018
FT-51	Yawata Japonia	Roşu	Rutilic	0,09	0,35—0,50	0,25—0,40	0,020	0,025
OK 4600	ESAB Suedia	Galben	Rutilic	0,10	0,50	0,25	0,012	0,014
UONI 13/45 E-45	U.R.S.S.	—	Bazic	0,10	0,80	0,3	0,03	0,03
OK-48.00	ESAB Suedia	Roz	Bazic	0,10	0,6	0,6	0,018	0,02
E 48-72	R.S.C.	Albastru	Acid	0,10	0,7	0,15	0,05	0,04

Tabela 23

sudarea oțelurilor

%	Caracteristici mecanice				Coeficient de depunere g/Ah	Intensitatea curentului de sudare, A			
Alte elemente	σ_r kgf/mm²	σ_c kgf/mm²	δ_5 %	KCU kgfm/cm² la 20°C		2,5	3,25	4	5
—	min. 38	—	18	6	10	80—90	110—130	150—180	200—220
—	min. 38	—	18	6	10	80—90	110—130	150—180	200—220
—	min. 42	min. 28	22	8	10	80—100	110—140	150—180	200—230
—	min. 42	min. 30	22	15	10,5	80—100	110—150	140—200	200—260
—	44—52	30—36	22	9	10	80—100	110—140	150—180	200—230
—	48—54	32—36	22—24	min. 9	10	80—100	110—140	150—180	200—230
—	44—52	32—36	18—24	7—12	9,8	70—90	100—120	130—150	160—220
—	45—50	32—36	26—32	10—13	9,5	75—100	110—140	140—190	200—230
—	44—52	32	22—32	13—28	10	80—100	110—140	140—170	190—230
—	47—54	37—48	20—17	14	9,0	70—95	90—130	130—150	180—220
Cu 0,15	48—52	40—43	20—25	14—18	9,0	60—80	80—110	130—160	160—220
—	48—53	38—42	25	14	9,5	60—100	80—150	100—200	150—230
—	43—45	32—34	28—32	25—30	9,8	80—100	120—150	140—200	200—260
—	48—52	41—45	30	18—20	10,5	80—100	110—150	140—200	200—260
—	48—52	36	22—30	8—14	9,5	75—100	110—140	160—180	200—230

Marca electrodului	Fabricație	Marcaj	Tipul electrodului	Compoziția chimică a metalului				
				C	Mn	Si	S	P
E 48-83	R.S.C.	—	Bazic	0,08	1,3	0,6	0,05	0,04
EL 50 B	România	Fără	Bazic	0,06	1,3	0,20	0,020	0,02
EV 50	Böhler Austria	Albastru	Bazic	0,12	0,55	0,15	0,014	0,016
UONI 13-55	U.R.S.S.	—	Bazic	0,12	1,5	0,03	0,04	0,04
ER-1	R.P.U.	Verde	Rutilic	0,10	0,60	0,40	0,018	0,018
EL MSB	România	Albastru	Bazic	0,10	1,10	0,60	0,016	0,016
Fox DMoTl	Böhler Austria	—	Rutilic	0,10	1,0	0,25	0,018	0,016
E 62.33	R.S.C.	—	Bazic	0,10	2,6	0,50	0,04	0,05
EL MoB	România	Galben	Bazic	0,15	1,0	0,10	0,02	0,02
Fox DMoKb	Böhler Austria	Roz	Bazic	0,10	1,0	0,25	0,018	0,016
Boispez Elektrode	R.S.C.	—	Bazic	0,08	0,55	0,20	0,025	0,04
TL 18 Mo (E-HM)	U.R.S.S.	—	Bazic	0,08	0,5 0,9	0,15 1,35	0,04	0,04
EL MoCB B	—	Galben-verde	Bazic	0,10	0,60	0,35	0,018	0,018
OK VI	ESAB Suedia	Galben	Bazic	0,12	0,7	0,4	max. 0,014	max. 0,014
Elektrode Lof Spezi	R.S.C.	—	Bazic	0,08	0,60	0,22	0,025	0,04

Tabela 23 (continuare)

%	Caracteristici mecanice				Coeficient de depunere g/Ah	Intensitatea curentului de sudare, A			
Alte elemente	σ_r kgf/mm²	σ_c kgf/mm²	δ_5 %	KCU kgfm/cm² la 20°C		2,5	3,25	4	5
—	48—56	36	22—30	13—20	10,5	80—100	110—140	140—170	190—230
—	50—58	36—42	22—32	13—20	10,5	70—90	110—130	140—170	180—210
—	50—55	40—45	28—34	18—21	11	65—90	110—130	140—180	190—220
—	50—55	38—43	25—30	25—30	8	70—90	110—130	140—170	190—230
—	50—55	42—49	20—26	10—14	9,0	—	90—140	130—180	170—250
—	55—62	40—46	20—26	13	10,5	—	110—130	140—180	190—220
Mo 0,40	52—57	43—48	30—25	13	—	80—100	110—150	160—180	190—230
—	62—72	45—55	18—24	8—13	10	80—110	110—140	150—190	190—260
Mo 0,40	50—60	34—42	18—22	8—14	9,8	80—100	110—140	150—190	190—240
Mo 0,5 Nb 0,10	55—65	45—50	20—25	14—18	10	70—100	110—140	140—180	190—230
Mo 0,40	45—49	30—35	22—23	8—12	10	70—110	110—150	160—180	200—240
Mo 0,4—0,6 Cr 0,7—1,0	60—70	46—58	14—16	9—12	9,8	70—110	110—150	150—180	200—240
Mo 0,4 Cr 0,4	50—60	34—46	18—22	8—14	9,5	70—100	120—150	140—180	190—240
Mo 0,5 Cr 1,0	80—90	65—70	17	16—20	10,5	70—110	110—150	160—180	200—240
Mo 1,00 Cr 0,4	55—46	38—46	18—22	6—9	10	70—110	110—150	160—180	200—240

Marca electrodului	Fabricație	Marcaj	Tipul electrodului	Compoziția chimică a metalului				
				C	Mn	Si	S	P
E Cr Mol	R.P.U.	Portocaliu	Bazic	0,20	0,50	0,20	0,03	0,03
Fox DCMSTi Fox DCMSTKb	Böhler Austria	Maron	Rutilic	0,10	0,80	0,3	0,018	0,016
TL 20 (E HMF)	U.R.S.S.	—	Bazic	0,13	0,5 0,9	0,15 0,45	0,04	0,04
E Cr Mo 2	R.P.U.	Violet	Bazic	0,12	0,8	0,4	0,03	0,03
Fox DMv 83 Kb	Böhler Austria	—	Bazic	0,10	0,8	0,3	0,02	0,02
Fox Cm 2 Ti CM 2 Kb	Böhler Austria	—	Rutilic Bazic	0,10	0,7	0,25	0,02	0,02
Fox CM 5 T 1 CM 5 Kb	Böhler Austria	—	Rutilic Bazic	0,10	0,9	0,3	0,03	0,03
OK V 2	ESAB Suedia	Portocaliu	Bazic	0,07	0,5	0,4	0,02	0,02
Fox SAS 2	Böhler Austria	Galben	Bazic	0,08	1,0	0,20	0,016	0,018
OKR 201 S	ESAB Suedia	Maron	Rutilic	0,05	0,6	0,6	0,012	0,012
E 380	R.S.C.	—	Bazic	0,15	6	0,95	0,03	0,03
INI-B	Ilssaviola Italia	—	Bazic	0,03	2,0	0,6	0,02	0,02
Fox SAS4	Böhler Austria	Violet	Bazic	0,08	1,10	0,25	0,02	0,02

Tabela 23 (continuare)

% Alte elemente	Caracteristici mecanice				Coeficient de depunere g/Ah	Intensitatea curentului de sudare, A			
	σ_r kgf/mm²	σ_c kgf/mm²	δ_5 %	KCU kgfm/cm² la 20°C		2,5	3,25	4	5
Mo 0,4—0,7 Cr 1,0—1,5	60—65	50—55	14—18	7—9	10	—	130—150	160—190	190—220
Mo 0,5 Cr 1,0 Ti 0,15 Nb 0,15	55—65	40—48	18—20	8—11 / 15—19	10,5	90—100	110—140	140—180	190—230
Mo 0,4—0,70 Cr 0,7—1,0 V 0,1—0,3	60—70	50—60	12	10—14	9,8	80—100	120—140	160—180	190—220
Mo 0,6—1,0 Cr 2,6—3,2 V 0,1—0,2	65—75	55—65	10—13	10—14	10	—	130—150	160—170	190—210
Mo 0,8 V 0,3	—	—	—	—	—	80	120	160	200
Mo 1,0 Cr 2,5	65—69	55—58	8—14 / 14—19	7—10 / 14—17	—	100	125	160	210
Mo 0,5 Cr 5,2	65—70	55—63	20—15	7—10	—	100	125	160	210
Mo 1,0 Cr 2,25	63—65	52—56	22	18	—	65—95	90—130	130—180	180—250
Cr 19 Ni 10,5	52—60	38—45	30—45	13	10,5	60—80	80—100	110—130	150—170
Cr 20 Ni 10,5 Nb 0,5	55—60	38—45	50—55	13,5	10	45—80	95—110	120—155	160—210
Cr 19 Ni 8 Ti 0,15	50—65	30—40	28—52	10	10,5	70—90	90—110	120—130	140—150
Cr 18 Ni 8	60	30	45	12	10,5	55—65	80—95	100—125	160—175
Cr 19 Ni 10,5 Mo 2	55—70	35—40	30—40	12	10,5	60—80	80—100	110—130	150—170

Marca electrodului	Fabricație	Marcaj	Tipul electro-dului	Compoziția chimică a metalului				
				C	Mn	Si	S	P
OKR6	ESAB Suedia	Violet	Bazic	0,07	0,6	0,6	0,012	0,012
OKR601S	ESAB Suedia	Violet	Rutilic	0,05	0,6	0,6	0,012	0,012
E 391	R.S.C.	—	Bazic	0,08	0,95	0,75	0,03	0,03
INMI-B	Ilssa-viola Italia	—	Bazic	0,06	0,80	0,60	0,02	0,02
Fox FFB	Böhler Austria	Roșu	Bazic	0,08	0,8	1,0	0,018	0,016
OKR 7	ESAB Suedia	Galben	Bazic	0,13	0,5	0,5	0,012	0,012
Fox AN	Böhler Austria	—	Bazic	—	—	—	—	—
Fox FF	Böhler Austria	—	Bazic	—	0,8	1,2	—	—
Fox FA	Böhler Austria	—	Bazic	—	0,8	1,0	—	—

Tabela 23 (continuare)

%	Caracteristici mecanice				Coeficient de depunere g/Ah	Intensitatea curentului de sudare, A			
Alte elemente	σ_r kgf/mm²	σ_c kgf/mm²	δ_5 %	KCU kgfm/cm² la 20°C		2,5	3,25	4	5
Cr 19 Ni 12 Mo 2,5	57—68	38—43	25—28	13	10,5	50—80	80—110	100—160	150—210
Cr 19 Ni 11,5 Mo 2,5 Nb 0,5	55—65	35—40	25—30	14	10	45—80	95—110	120—155	160—210
Cr 18 Ni 10 Mo 2,0 Nb 0,5	60—65	36—40	25—30	10	10,5	75—90	90—110	120—130	140—160
Cr 18 Ni 10 Mo 2,5	70	40	45	14	10	55—65	80—95	100—125	160—175
Cr 25 Ni 20	55—75	35—45	25—35	15—18	9,5	60—80	60—110	110—140	150—170
Cr 26 Ni 21	55—70	30—40	25—40	15—18	9,5	50—90	90—110	110—150	150—200
Cr 24 Ni 20	50—60	35—45	30—45	15—20	—	70	90	120	160
Cr 21 Ni 11	60—70	45—55	—	—	—	—	—	—	—
Cr 25 Ni 4	65—75	50—55	—	—	—	—	—	—	—

Tabela 24

Electrozi de sudură — recomandări de utilizare

Marca	Domeniu de utilizare	Recomandări tehnologice
EL 38 T	Pentru oţeluri carbon necalmate cu maximum 0,20% C, la table şi profile subţiri sau mijlocii	Lucrează în poziţie orizontale sau verticale, curent continuu (—) sau alternativ (50 V)
EL 42 A	Pentru oţeluri carbon necalmate cu maximum 0,25% C, la grosimi de maximum 20 mm. Se va evita folosirea la suduri supuse controlului defectoscopic	Sudează la orizontal şi vertical în curent continuu (—) sau alternativ (50 V). Este economic la sudurile de colţ
EL 44 T	Pentru oţeluri carbon calmate şi necalmate cu maximum 0,25%. Îmbinări solicitate static şi dinamic	Sudează în toate poziţiile cu curent alternativ (50 V) sau continuu (—)
EL 48 T	Pentru oţeluri calmate şi necalmate cu maximum 0,25% C, precum şi pentru oţeluri slab aliate, de tipul 09G2 şi oţel OL × 52	Sudează în toate poziţiile în curent alternativ (50 V) şi continuu (—)
EL 44 C	Pentru oţeluri calmate şi necalmate cu maximum 0,25% C, la construcţii cu zăbrele, lucrări de montaje. Straturi de rădăcină la ţevi	Sudează în toate poziţiile în curent continuu (+) sau curent alternativ (70 V). Sudează fără stropungere la rosturi mari şi neuniforme
EL 42 B	Pentru oţeluri calmate şi necalmate cu maximum 0,30% C, oţeluri slab aliat 09G2 şi table de cazane OLK 3. Deosebit de rezistent la fisurare	Înainte de sudare se va usca la 250 °C. Sudează în toate poziţiile cu curent continuu (+)
Fox SPE	Sudarea oţelurilor cu maximum 0,25% C, calmate şi necalmate, cu rezistenţă 45 kgf/mm². Construcţii de poduri, nave, construcţii metalice, conducte, cazane etc.	Sudează în toate poziţiile cu curent alternativ (50 V) sau continuu (—). Are pătrundere adîncă. Se sudează cu arc scurt sau normal
E 44, 83	Sudarea oţelurilor carbon cu rezistenţă 35—50 kgf/mm², în construcţii de nave, cazane de abur, construcţii solicitate dinamic	Sudează în toate poziţiile cu curent continuu (+). Are pătrundere redusă. Se sudează cu arc scurt, cu viteză mică de sudare. Înainte de folosire se recomandă încălzire la 250 °C

Tabela 24 (continuare)

Marca	Domeniu de utilizare	Recomandări tehnologice
RB-26	Sudarea construcţiilor metalice din oţeluri cu σ_r=54 kgf/mm² pentru vapoare, cazane şi automobile, precum şi remanierea defectelor pieselor turnate	Sudează în poziţie orizontală şi verticală (de sus în jos), cu arc lung şi stabil, avînd o pătrundere redusă. Depunerea se face cu stropi mici, fierbinţi Sudează cu curent continuu (+)
FT-51	Sudarea oţelurilor carbon cu σ_r=50 kgf/mm². Table şi profile subţiri, maximum 15 mm, pentru construcţii de poduri, vagoane, nave, carcase de transformatoare, tambure de cazane, ventilatoare	Sudează în toate poziţiile (vertical, de sus în jos), cu curent continuu (—) şi alternativ. Are pătrundere redusă, cu deformaţii minime, încălzind puţin metalul de bază. Sudează cu arc scurt. Se recomandă uscarea înainte de utilizare
OK 46.00	Sudarea oţelurilor carbon cu rezistenţă 44—52 kgf/mm² la construcţii de nave, construcţii metalice şi cazane	Sudează bine în toate poziţiile (vertical de sus în jos şi jos în sus), cu curent continuu (+ ; —) sau alternativ. Are pătrundere adîncă
OK 48.00	Sudarea oţelurilor carbon şi slab aliate cu rezistenţă 44—52 kgf/mm² la construcţii de rezervoare, nave şi construcţii metalice puternic solicitate. Indicat pentru sudarea oţelurilor turnate, precum şi a construcţiilor rigide, fiind rezistent la fisurare	Sudează în orice poziţie cu curent continuu (—) sau alternativ. Sudează cu pătrundere mare, cu arc scurt sau normal. Are pătrundere mare şi viteză de topire redusă. Zgura la primele straturi, în cazul sudării din straturi multiple, se desprinde greu
E 48—83	Sudarea oţelurilor carbon şi slab aliate cu rezistenţă 44—52 kgf/mm², la construcţii de rezervoare, nave şi construcţii metalice puternic solicitate. Indicat pentru sudarea oţelurilor turnate precum şi a construcţiilor rigide, fiind rezistent la fisurare	Sudează în orice poziţie cu curent continuu (—) sau alternativ. Sudează cu pătrundere mare, cu arc scurt sau normal. Are pătrundere mare şi viteză de topire redusă. Zgura la primele straturi, în cazul sudării din straturi multiple, se desprinde greu
50 B	Pentru oţeluri carbon cu conţinut de pînă la 0,5% C sau oţeluri slab aliate, la construcţii solicitate puternic. Sudarea pieselor din oţel turnat	Sudează în toate poziţiile cu curent continuu (+). Are pătrundere redusă şi viteză de topire mică. Înainte de sudare se recomandă uscarea la 250 °C

Tabela 24 (continuare)

Marca	Domeniu de utilizare	Recomandări tehnologice
Fox EV-50	Pentru oţeluri carbon (max. 0,4 % C) şi slab aliate cu rezistenţa max. 60 kgf/mm², în construcţii de rezervoare, cazane de abur, conducte, nave, construcţii metalice, table groase şi piese turnate. Indicate pentru sudarea la rece a fontelor cenuşii	Sudează în toate poziţiile, cu curent alternativ (70 V) sau continuu (+). Se sudează cu arcul scurt, avînd o pătrundere mică şi viteza de sudare redusă. Înainte de folosire se recomandă uscarea
ER-1	Sudarea oţelurilor carbon, cu max. 0,4 % C şi σ_r =55 kgf/mm², în construcţia de cazane, conducte de abur, nave, construcţii metalice importante, piese turnate	Sudează de preferinţă orizontal avînd un arc stabil, care permite variaţii de lungime. Zgura se curăţă relativ greu. Sudează în curent continuu (—) sau alternativ
ElMSB	Sudarea oţelurilor slab aliate cu Mn şi Si, cu σ_r =40kgf/mm², precum şi a oţelurilor carbon cu pînă la 0,5 % C, la construcţii importante din table groase sau piese turnate	Sudează în toate poziţiile, cu curent continuu (+), cu arc scurt. Zgura se desprinde relativ greu. Se va suda în straturi subţiri
E 62.33	Sudarea oţelurilor slab aliate cu Mn şi Si, cu rezistenţă de 60—81 kgf/mm², la construcţii mecanice şi piese turnate	Sudează în orice poziţie, cu curent continuu (+). Se sudează cu arc scurt, fără pendularea electrodului. Înainte de folosire, electrozii se vor usca la 250 °C
El MoB Fox DMoTi Fox DMoKb Boi Spez Elektrode	Sudarea oţelurilor slab aliate cu Mo şi conţinut de carbon maximum 0,4 la construcţii de cazane şi ţevi termorezistente la temperatura de 500 °C. Oţeluri laminate şi turnate cu rezistenţa maximă 60 kgf/mm²	Sudează în orice poziţie, cu curent continuu (+). Se poate suda şi cu curent alternativ (70 V). DMoKb se recomandă pentru grosimi peste 20 mm. Zgura se desprinde cu uşurinţă. Se recomandă sudarea cu arc scurt. Electrozii se vor usca obligatoriu înainte de folosire
ElMoCB OKVl Electro de lof spez. Fox DCMSTi Fox DCMSKb TL 18 Mo	Sudarea oţelurilor slab aliate cu Cr şi Mo, pentru cazane şi ţevi termorezistente la temperaturi maxime 550 °C	Sudează în orice poziţie cu curent continuu (+). Zgura se desprinde cu uşurinţă. Se sudează cu arc scurt. Înainte de sudare, electrozii se vor usca la 250 °C

Tabela 24 (continuare)

Marca	Domeniu de utilizare	Recomandări tehnologice
TL-20 E-HMF ECrMo2 Fox DMv 83 Kb	Sudarea oţelurilor slab aliate cu Cr, Mo şi Va, pentru cazane şi ţevi termorezistente, la temperatura 600 °C	Sudează în orice poziţie cu curent (+). Se sudează cu arc scurt. Înainte de folosire, electrozii se vor usca la 250 °C. Se va respecta cu stricteţe intensitatea prescrisă şi tehnologia de sudură pentru oţelul respectiv
Fox CM2Ti CM2Kb OK V2	Sudarea oţelurilor slab aliate cu Cr şi Mo, la construcţii de cazane de abur, utilaj pentru industria chimică şi rafinării, rezistente la 600 °C, precum şi la oţeluri cu rezistenţe 90—120 kgf/mm², cu maximum 2 % Cr	Sudează în toate poziţiile, cu arc scurt, cu curent continuu (+). Zgura se înlătură uşor. Se recomandă respectarea strictă a intensităţii curentului, precum şi uscarea electrozilor înainte de folosire
Fox CM5Ti CM5Kb	Sudarea oţelurilor slab aliate cu Cr-Mo, cu conţinut pînă la 5 % Cr, la construcţii de utilaje pentru industria chimică şi rafinării. De asemenea, pentru sudarea oţelurilor Cr-Mo, cu rezistenţa 100—130 kgf/mm²	Sudează în toate poziţiile, cu arc scurt, cu curent continuu (+). Înainte de sudare electrozii vor fi uscaţi la circa 250 °C
Fox SAS2 OKR 201S E 380 INI-B	Sudarea oţelurilor austenitice cu 19 % Cr 9 % Ni, anticorosive şi termorezistente, în construcţii de utilaj chimic şi rafinării	Sudează în toate poziţiile, cu curent continuu (+). Se lucrează cu arc scurt (23—30 V), cu intensitatea minimă, funcţie de dimensiunile pieselor. Pendularea electrodului va fi cît mai redusă, depunîndu-se straturi înguste. Înainte de folosire, electrozii se vor usca
Fox SAS4 OKR6 OKR601S E 391 INMI-B	Sudarea oţelurilor austenitice Cr-Ni şi Cr-Ni-Mo şi feritice (Cr, Mo) anticorosive şi termorezistente, în industria chimică şi rafinării, armături şi alte construcţii	Sudează în orice poziţie, cu curent continuu. Arcul se menţine scurt (18—26 V), cu intensitate minimă. OKR601S — este indicat pentru sudarea tablelor subţiri. Se depun straturi subţiri fără pendulare. Aceşti electrozi nu necesită preîncălzirea oţelurilor înainte de sudare şi nici tratament termic ulterior

Tabela 24 (continuare)

Marca	Domeniu de utilizare	Recomandări tehnologice
Fox FFB OKR 7 Fox AN	Sudarea oţelurilor aliate Cr-Ni-Si, cu conţinut 25% Cr, 20% Ni, la construcţii termorezistente pînă la 1 200 °C	Sudează în toate poziţiile, cu curent continuu (+). Se sudează cu arc scurt (20—27 V) şi intensitate minimă. Materialul se depune în straturi înguste, fără pendularea electrodului
Fox FF	Sudarea oţelurilor termorezistente pînă la 1 000 °C, cu un conţinut de 20% Cr, Ni 10% folosite la execuţia suporturilor de cazane, ţevi de ardere, piese de focar etc.	Sudează în orice poziţie cu curent continuu (+). Se sudează cu arc scurt, fără pendularea electrodului
Fox FA	Sudarea oţelurilor termorezistente pînă la 1 000 °C, care lucrează în mediu sulfuros	Sudează cu curent continuu. Se sudează cu arc scurt, fără pendularea electrodului, în straturi subţiri

Notă. La recomandaţii tehnologice, în paranteză, se indică polul la care se leagă electrodul în cazul sudării în curent continuu, sau tensiunea de mers în gol, pentru sudarea în curent alternativ.

F. FORMELE ŞI DIMENSIUNILE CUSĂTURILOR LA SUDAREA MANUALĂ CU ARC ELECTRIC

În Republica Socialistă România formele îmbinărilor sudate electric, manual şi cu gaze, sînt stabilite de STAS 6662-62, pentru oţelurile carbon de construcţie şi oţelurile slab aliate.

În tabelele 25, 26, 27, 28 şi 29 sînt indicate formele şi dimensiunile îmbinărilor sudate, cele mai des folosite.

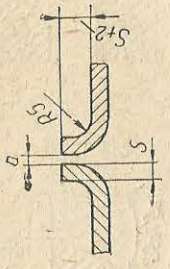
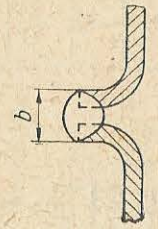
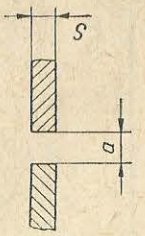
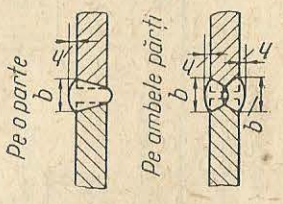
G. TEHNICA SUDĂRII MANUALE CU ARC ELECTRIC

1. Amorsarea arcului electric

Pentru amorsarea arcului, electrodul, ţinut perpendicular pe piesă, se apropie rapid de locul de începere a sudurii, pînă se face contact cu piesa de sudat şi apoi electrodul se îndepărtează de piesă încet,

Tabela 25

Sudură cap la cap, fără teşirea muchiilor

Denumirea cusăturii	Forma rostului	Forma îmbinării	Dimensiuni mm			
				Pe o parte	Pe ambele părţi	
Sudură în I cu margini răsfrînte			$S=1\div4$ $a=0\div2$ $b=2S+a$			
			S	$\leqslant 1$ $0\div1$ $4-5$	$2-4$ $0\div2$ $4-6$	$\leqslant 2$ $0\div1$ $4-5$	$3-6$ $1\div3$ $6-8$
Sudură în I			a b				
			h	1			